



# LUND UNIVERSITY

## Conservation of the Warship Vasa the treatment and the present problems

Dal, Lovisa; Hall Roth, Ingrid

*Published in:*

International Congress on the Conservation and Restoration for Archaeological Objects

2002

*Document Version:*

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Dal, L., & Hall Roth, I. (2002). Conservation of the Warship Vasa: the treatment and the present problems. In *International Congress on the Conservation and Restoration for Archaeological Objects: Preprints* (pp. 29-38). Nara National Research Institute for Cultural Properties.

*Total number of authors:*

2

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

# 戦艦ヴァーサ号の保存

## —処理方法と現在の問題点—

*Conservation of the Warship Vasa — the Treatment and the Present Problems —*

**ロヴィサ・ダル** *Lovisa Dal*

**イングリッド・ハル・ロス** *Ingrid Hall Roth*

**国立海洋博物館 ヴァーサ号博物館** *National Maritime Museum, The Vasa Museum, Sweden*



ヴァーサ号は、スウェーデン王グスタフ2世アドルフの命により、その当時不穏だったバルト海を支配するためのスウェーデン艦隊のもっとも重要な戦艦となるべく、1626年からストックホルムの中心部にある海軍造船所で建造されました。約1,000本のオーク材を使い、全長69m、帆柱の高さ52.5m、64門の青銅製の巨砲を装備した二重砲列甲板をもち、数百もの金鍍金に彩色した彫刻で船体が飾られた、スウェーデン始まって以来、もっとも高価な船でしたが、1628年、処女航海の途中で転覆してしまいました。船体は1961年に引き揚げられ、ポリエチレングリコール(PEG)で処理された最初の重要な遺物となりましたが、今日、木材中で硫酸が生成し、セルロースを酸加水分解するという新たな問題が生じています。

### ロヴィサ・ダル

1994-96年美術工芸(陶器)を学ぶ、96-97年Lund大学にて北ヨーロッパ考古学を学ぶ、2001年デンマーク王立美術アカデミー保存学部卒業、02年Sodertorn大学にて海洋考古学を学ぶ、01年より国立海洋博物館 ヴァーサ号博物館保存部門。

### イングリッド・ハル・ロス

1974-75年Lund大学にて美術史を、75-76年Lund大学にて北ヨーロッパ考古学を、76年Lund大学にて民族学を学ぶ。78-79年デンマーク王立美術アカデミー保存学部の1年教育を受ける、81年Cardiff大学考古科学部卒業、88年Gothenburg大学の学位(美術史)取得、2001年Sodertorn大学にて海洋考古学を学ぶ、02年より国立海洋博物館保存科学部長。



## はじめに

1628年8月10日、処女航海への日、祝砲が放たれ、好奇心に満ちた多数の民衆がストックホルム港に集まり、盛大な儀式が挙行されました。船には王城で120トンのバラストが積み込まれ、総勢450名の兵士や乗組員のうち100名が乗船し、残りは船が群島海にでたところで乗り込むために待機していました。

ヴァーサ号は10枚の帆のうち4枚をあげて出港したのですが、保護区域をでたとき強風が吹き、船体は右に大きく傾き、砲門口から海水が流れ込み始めて、たった1,300m進んだだけで水面下に姿を消してしまいました。ヴァーサ号の船首があまりに重く、かつ船体が細かったことによる不安定さが大災害をもたらした原因

です。ちなみに、この大惨事で30～50名が溺死しました。

その後、17世紀に、貴重な青銅製の大型砲のほとんどは引き揚げられましたが、それ以降、この難破事件は世間から忘れ去られていました。

## 1. 引き揚げ

1956年にひとりの技術者アンデルス・フランツェン (Anders Franzen) が、何年もの年月をかけて公文書を調べ、ストックホルム港の海底を引っ掛け錨と測深線で探索して沈没場所を特定するまで、300年以上もヴァーサ号は忘れられていました。その翌年、潜水夫たちが最高級の豪華な工芸品類を引き揚げたことが契機となり、「ヴァーサ号を救え」という熱烈な運動が起こり、財団や民間企業が引き揚



図1●1961年のヴァーサ号引き揚げ(写真撮影：ヴァーサ号博物館)

げるための費用や器材を寄付するようになりました。もちろん、スウェーデン海軍も人員やボートを供与して、多大な貢献をはたしました。

ストックホルム港の海底の泥と砂利のなかに沈んでいるヴァーサ号を引き揚げするため、海軍の潜水夫たちは、ホースで送水して船体の下にトンネルをあけるようにしました。この作業は完全な真っ暗やみで進められたため、必要な6本のトンネルが完成するまでに2年間を要しています。このトンネルを使って船体の下にケーブルがわたされ、海上の水を満した平底船に接続されました。この平底船はその水を汲みだすことにより、ヴァーサ号とともに浮上し始め、その後、16段階を経て浅い場所へ移され、1961年4月24日、ふたたび多数の見物人たちの前に姿を現しました(図1)。

## 2. ヴァーサ号の保存

32mの深さから引き揚げるとき、船体の強度を綿密に計算したにもかかわらず、船体が外力に耐えられるかどうかは定かではありませんでした。建造に使われた鉄製ボルトのほとんどが錆び、船は船体に通された無数の木製ボルトでつなぎ止められているだけであったためです。

しかし、いくつかの要因が重なり、使われた木材の保存状態は非常に良好でした。第1の要因は、バルト海の海水温が低く、塩分濃度が低かったため、フナクイムシが生存できなかったことです。第2は、ヴァーサ号のかなりの部分が嫌気的な泥に覆われていたことです。酸素を消費するゴミが近くに捨てられていたため

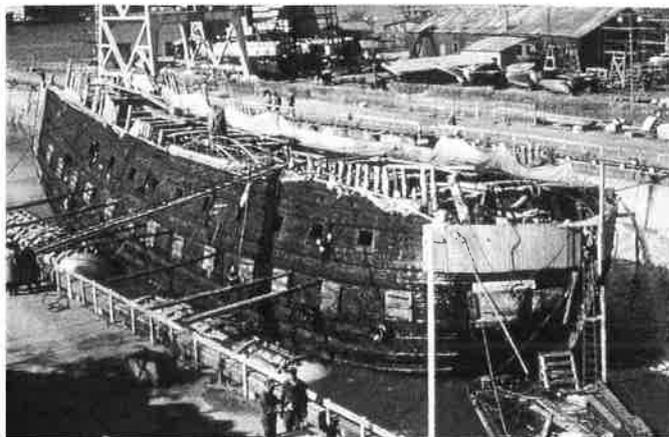


図2●ドックにおけるヴァーサ号  
(写真撮影：ヴァーサ号博物館) (口絵カラー参照)

周囲の海水が酸素不足の状態をきたしていたので、泥からでていた部分も分解から免れていました。また、耐久性の優れたオークの心材を主な材料として建造され、新造状態で沈没したことも幸いしました。

さて、引き揚げられたヴァーサ号は、コンクリート製の平底船の上におかれ、考古学的な発掘と保存が行われました(図2)。甲板に厚く積もっていた泥を取り除きながら、5ヵ月をかけて散乱していた16,000点もの種々の工芸品などを発掘・記録する一方、それらの工芸品は保存処理を施すまで水中で保管されました。また、調査中、船体を濡れた状態に保つため、絶えず水がかけられました。長期間にわたって水をかけることは、粘土や不純物を洗いとることに有効でした。さらに、船体の頂点部など露出した部分は、プラスチックで包むことにより乾燥や変形から保護する処理が施されていきました。

そして、冬季の対策として、船体の周りにエアコンを設置した建物が建設され、この建物のなかで保存処理をうけながら27年間をすごすことになりました。この

建物は公開展示室としても利用され、足場をめぐりながら作業中のヴァーサ号を見学することができました。

このヴァーサ号の引き揚げは、世界最高級の保存計画がスタートしたことを意味しています。ただし、引き揚げ当時、保存に関する問題点はほとんど論議されませんでした。これまでに回収されたもっとも巨大な木製の水浸遺物であったため、参考となるような前例がなかったからです。そこで、ヴァーサ号の船内から発見される可能性のあるすべての物質に関する専門家からなる保存委員会と、保存担当部門が設立され、石油会社に勤める技術者ラース・バークマン (Lars Barkman) が保存部門の責任者に任命されました。

委員会は、面積15,000m<sup>2</sup>の90%がオーク材からなる船体を保存するという難題に直面していました。オーク材以外は主にマツ材で、一部、リンデン材やトウヒ材も使われていました。種々の調査により、木材が泥中にあったか水中にあったかで、傷みの度合いが違ふことが判明しました。泥で覆われていた木材の表面状態は良好でした。また、船べりの上部や甲板の外側のように水と接触していた部分の木材の中心部はよく保存されていましたが、その外側は厚さ1cmに及んで分解し、柔らかくなっていました。そして、固い木材部の全体的な含水率は150%であるのに対して、劣化した層では800%にも達していました。オーク材以外の木材でつくられた小さな遺物では1,000%の含水量も稀ではありませんでした。

ちなみに、ヴァーサ号の船体の保存に

関して、オークの心材でつくられていることから何らの処理も必要としないという立場から、計画全体が実行不可能であるとする正反対の意見まで、さまざまな意見がだされましたが、一部の木材の乾燥実験から、乾燥すると15%以上の収縮が起こることが判明し、何らかの保存処理が必要であるという結論が確認されるに至りました。

処理に関しても多くの方法が提案されました。なかには「奇跡的作用をする処理剤」を用いるような提案もありました。それらの提案をもとに、小さな遺品については種々の保存法や処理剤が検討されましたが、腐朽を抑え、かつ木材構造を安定化するよい方法がないことがすぐに判明し、新しい保存処理法を開発することが求められました。

そして、工業的に使用される水溶性高分子のPEGを使ったところ、もっとも期待できる結果が得られました。PEGは木材の細胞内にはいりこんで水分子とおきかわり、木材の収縮とひび割れを防ぐことがすでに証明されていたことから、ヴァーサ号はPEGで処理される最初の大型遺物となりました。

まず、ヴァーサ号にもっとも効果的なPEGの分子量や濃度、処理温度、含浸に必要な時間などを決定するために、似たような水没条件にあった同時代の船の張り板を用いて試験が行われました。強い熱を加えながら100%PEGによる含浸を試みたところ、木材の細胞がつまって含水率が低くなり、ひび割れが生じるという欠点と、含浸を長期間にわたって続け、その後ゆっくりと調節された乾燥をする

ことによってPEGがふたたび表面に染みだしにくくなるという利点が明らかになりました。

1962年4月、ヴァーサ号にPEGを散布する作業が始まりました。最初の5年間は男性5名で編成されたチームが手作業で、よく保存された木部にはPEG#1500を、傷みのひどい部分にはPEG#4000を使用し、一区切りの処理工程を5時間以内に完了するように計画されて進められました。その際、木部の乾燥を遅くしてPEGの吸収を最大にするため、室内の相対湿度は95%に保たれました。この処理過程を調節するため、処理の都度、30個ほどの芯が採取され分析されました。何年にもわたって合計41回の処理が施されましたが、まだ十分なPEGが木材内部に浸透していないことが判明しました。

そこで、1965年、効率を高めるために全自動散布装置が設置されました。500個のノズルがついたパイプを船体の内外に張りめぐらし、平底船のタンクに3万リットルのPEG#1500を満たし、濃度を10%から徐々に高めながら散布していきました(図3)。当初は、最終的に100%PEGを散布することを計画していましたが、ポンプでは高濃度のPEGを送り込めず、最高到達濃度は43%でした。そして、この溶液には、腐食と微生物の増殖を防ぐための殺菌剤として、ホウ酸7割とホウ砂3割からなる混合物が約2%の濃度で加えられていました。

1965年から72年の間に、20分間隔で25分間、つまり1日32回、散布されました。木部の状態がよすぎてPEG#1500が木の細胞に浸透しにくいことが実験的に判明し



図3●14年間にわたり、船体にPEGが散布された。  
(写真撮影：ヴァーサ号博物館)

たことから、PEGの浸透を高めるため、1971年に、より低分子量のPEG#600に切り替え、72年に処理は1日2回、79年には1日1回に減らされました。ちなみに、過剰のPEGは集められ、大きな粒子をろ過して除いたのちに再利用されました。必要に応じてタンクにはPEGと水が補充されましたが、散布作業は主として閉鎖系で行われました。

散布終了後、9年間をかけて室内の相対湿度を徐々に下げて、木部をゆっくりと乾燥させました。このような保存処理と

乾燥によって、木部には総計約580トンの水が残された勘定になります。最終目的は、ヴァーサ号を60%の相対湿度に調節することでした。現在、その乾燥した木材の含水率は12~15%となっています。

1988年、ヴァーサ号は平底船に乗ったまま専用の新しい博物館へと「出帆」しました。平底船は博物館の床となり、内側に工芸品の収蔵庫が設置されています。1990年の新博物館のオープニングに先立ち、船体の表面に45%PEG#4000を散布し、工業用ヒーターで溶かしこむ処理が施されました。

### 3. バラバラの発見品

出土品のなかには約500体の彫像と200点以上の木彫装飾品があります。それらのほとんどは、ヴァーサ号の船首や船尾に鉄製の釘でとりつけられたもので、一部、ボートをつけようとしたときに落ちたものがあります。また、内部や周辺から時代の異なる約40個の錨も見出されま

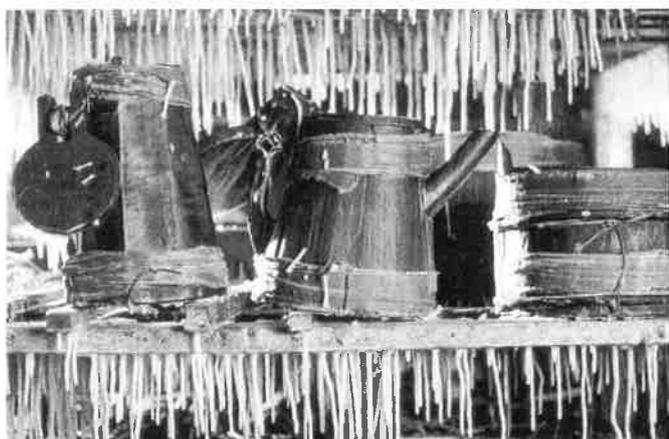


図4●小さな物品にもPEGが染み込まれ、調節された環境下で乾燥された。その周辺には、過剰のPEGが鐘乳石状になっている。  
(写真撮影：ヴァーサ号博物館)

した。そして、落ちた彫像は嫌気的な泥に埋もれていたことから、木製のボルトでとりつけられ、もとの位置に留まっていた彫像よりよく保存されていました。

これらの彫像などを保存するため、ヴァーサ号の引き揚げと連動して建設された保存研究室には、長さ20mのステンレス製のタンクが2基設置されました。それらのタンクには自動循環装置と温度調節装置が備わっていました。このタンクを使って、船体の外板のように大きなものは、小さなブロックを挟んで処理液を循環させるようにしました。また、小さな工芸品類は、表面に浮かび上がらないように処理してタンクに積み込んで、次のような処理を行っていきました。すなわち、ただの水から始めて徐々にPEG濃度を上げ、1年間で45%に上げてPEG#4000を含浸させましたが、その際、PEGの浸透をふやすため温度を60℃に保ちました。このような含浸作業を終えた工芸品類は、保存研究室のそばのボートに移され、そこで湿度を厳密に調節しながら保存されました。

工芸品類も船体と同様、相対湿度60%で平衡になるように乾燥され、最終的に表面が45%PEG#4000で処理されました(図4)。この処理は頑丈なものにはうまくいきましたが、繊細で脆いものは、ゆっくりとした乾燥に耐えられないと判断され、もっとよい処理方法が開発されるまで水中で保存することが決断されました。この判断は、1970年代初頭に凍結乾燥法が導入されたことにより、賢明であったことが証明されました。水中で保管されていた工芸品類は、1ヵ月間、5%

PEG#400に浸漬した後、凍結乾燥することで良好な結果がえられています。

#### 4. 復元作業

ヴァーサ号が引き揚げられたとき、船体部は無傷でしたが、船尾や上部甲板、舳先は破損していました。それらの復元が1961年から始まり、ほとんどの彫像ももとの位置に戻されていきました(図5、6)。ただし、約13,500個の断片は、それぞれの古巣を見つけだす作業がたいへんであったことから、「ヴァーサ号は世界最大のジグソーパズルである」といわれていました。ばらばらになっていた断片の釘穴に太い金属製の針金を通し、それとあう釘穴を船体を探すことで、もとの部位を特定するようにしたのです。現在、船首や船尾、上部甲板も、約95%はもとの

材料で復元され、新しい材料を使った部分は、参観者にそれがはっきりとわかるようにもとの材料より明るい色、かつ滑らかに仕上げられています(図7)。ここ数年間で下檣(帆柱の一種)が装備され、檣楼(下檣の頂部にある円形の台)や横静



図5●跳躍するライオンを彫刻したヴァーサ号の船首像の引き揚げ(写真撮影：ヴァーサ号博物館)

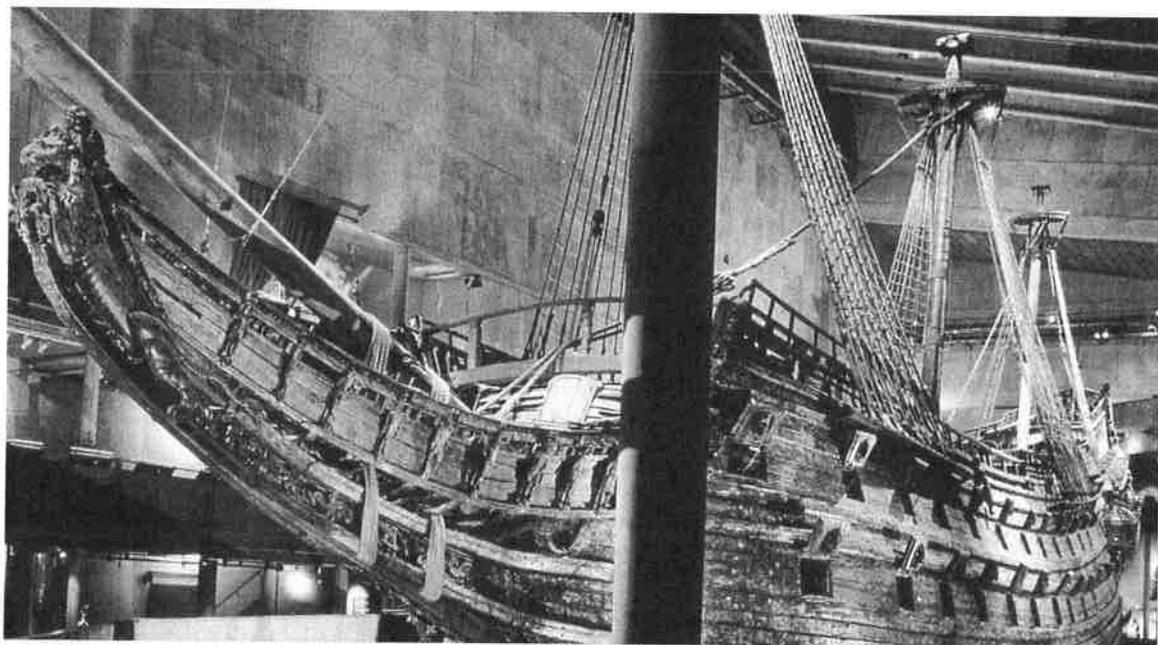


図6●もとの位置にライオンの船首像をつけた現在のヴァーサ号(写真撮影：Hans Hammasskiold、ヴァーサ号博物館の依頼による)

索(マストの頂きから両船側に張った支索)や支索も複製されました。

ヴァーサ号は、世界でもっともよく保存された17世紀の船舶です。軍艦の構造や船上での生活を知るうえで重要なものであるとともに、数多くの彫刻はルネッサンス後期の芸術のユニークな收藏品ともなっています(図8、9、10)。年間約750,000人の参観者があるヴァーサ号博物館は、スカンジナビアでもっとも人気の高い博物館となりました。

## 5. 現在の問題点

2000年の秋、ヴァーサ号の船体内部や展示品、収蔵庫の木製工芸品に析出物のシミが多数、見出されました(図11、12、13)。表面にできた結晶性の白い陰影から、木部が柔らかくなった深部での黄色いシミまでさまざまでしたが、それぞれのpHを測定したところ3以下でした。このように低いpHはセルロースの酸加水分解をもたらすことから、問題の原因と特性を

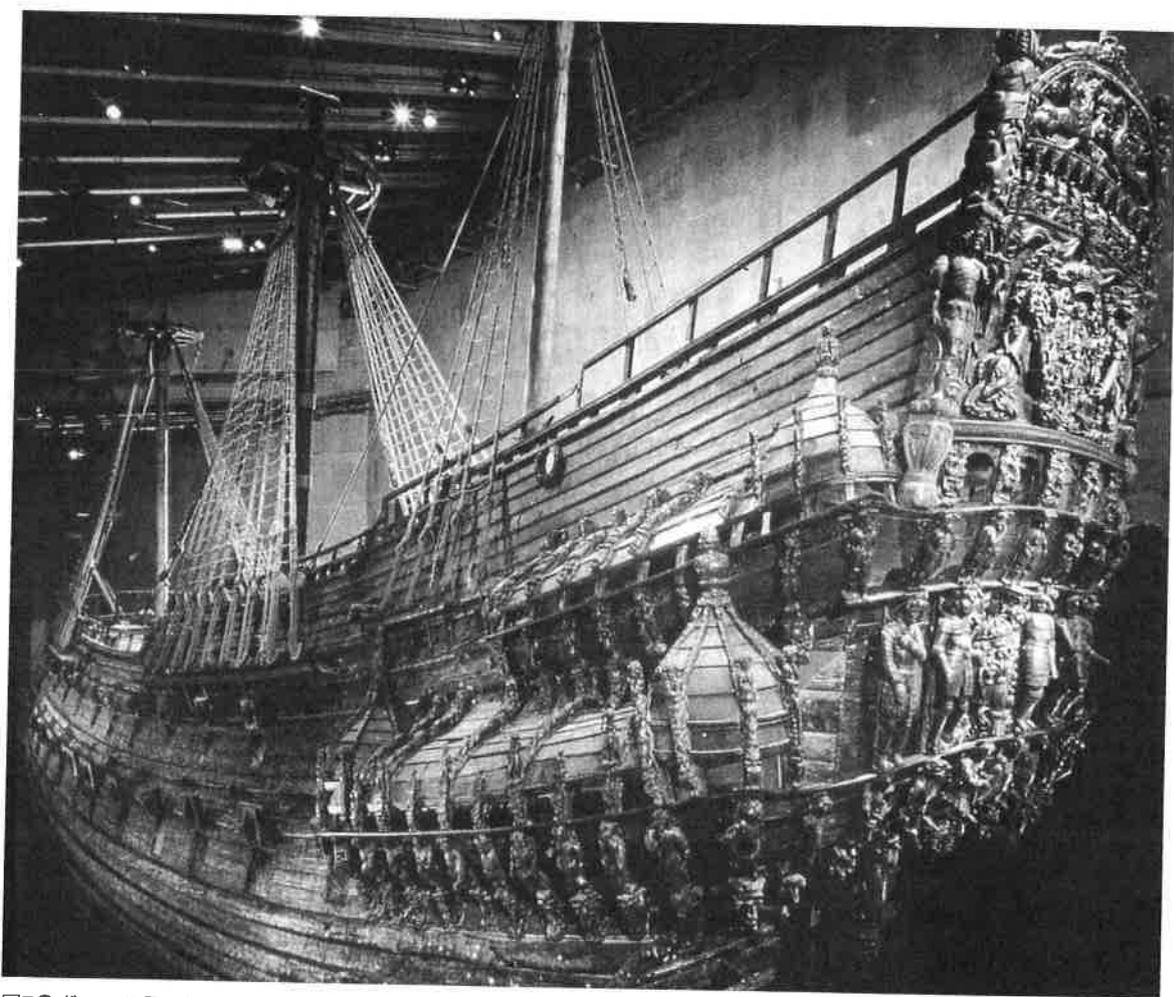


図7●ヴァーサ号の船尾(写真撮影：Hans Hammasskiold、ヴァーサ号博物館の依頼による)

明らかにするためにさまざまな解析が行われました。そして、X線回折によって、表面の析出物は、ナトリウムやアンモニウム、カリウム、マグネシウム、鉄、カルシウムなどの水和硫酸塩や、硫黄の結晶（自然硫黄 $S_8$ ）であることが明らかになりました\*1。もっとも多かったのは石膏です。

これらの硫酸塩は、ヴァーサ号が海床に横たわっていた333年間に、還元性バクテリアが木材中にためこんだ硫黄や硫化物に起因しています。引き揚げられて空気にさらされて以来、還元型の硫黄は一連の中間過程を経て酸化されたのです。現状の好気的な条件下では、硫酸塩が熱力学的に安定な最終産物となります。不運にも、硫酸も酸化過程で生じました。これらによって、ヴァーサ号で測定された非常に低いpHを説明することができません。

木材中の硫黄の量と濃度勾配をX線光電子分光法で調べたところ、ヴァーサ号のコアサンプルからは6wt%濃度の総硫黄含量が検出され、木材の深部になるにしたがって低下していることがわかりました\*2。表面での硫黄レベルは、もっとも低い検出レベルの約20倍の高さでした。

また、木部の芯部のX線吸収端近傍分光法により、木材の種々の深さでの硫黄の酸化状態も明らかになりました\*3。すなわち、表面の硫黄の約65%が硫酸塩であり、また還元型硫黄の相対量はコアサンプルの中心部にいくにしたがって増加していました。このことは、還元型硫黄が連続的に酸化されていることの証拠で、現在も硫酸が生成していることを示唆し



図8●ヴァーサ号で見つかった品々  
(写真撮影：ヴァーサ号博物館)

ています。

ちなみに、硫酸の形成過程は、木材に存在する鉄によって触媒されることが推測されます。したがって、ヴァーサ号のすべての木材中で硫黄が酸化していることになり、予備的な分析結果が事実だとすると、5,000kgの硫酸が木材中で生成される運命にあると推定されます。

硫黄の酸化はヴァーサ号の引き揚げ時から始まり、17年間の散布処理期間中にも生成していたはずですが、現存する硫酸塩の量は、事前に形成された量に相当します。17年間の処理により硫酸が洗い流され、殺菌剤として加えたホウ酸塩によって中和された可能性があります。事実、X線による解析の結果、かなり高濃度のホウ酸塩が80mmの深さまで検出されていました。ホウ酸は木部に浸透する能力が高いことがわかります。そのため、保存されている使用したPEG混合液試料を分析して、どのような物質が含まれているかを決定することが必要になっています。

似たような塩の析出が、PEG処理され

た1629年にオーストラリア沖で沈没したオランダ船バタヴィア号や、ロスキルデ沖から引き揚げられたデンマークのヴァイキング船(11世紀)で発生し、かなりの量の黄鉄鉱( $\text{FeS}_2$ )が見出されることが、すでに報告されていました。黄鉄鉱は、硫化水素が還元するとき、鉄が存在すると生成します。黄鉄鉱が酸化されると硫酸が生成します。また、黄鉄鉱が酸化すると、塩の体積が25倍にも膨れあがり、木材の細胞を内側から壊すこととなります。幸い、ヴァーサ号ではごくわずかの黄鉄鉱しか検出されていません。

ただし、ヴァーサ号の工芸品から塩の析出が見つかったのは、これが最初ではありません。1957年から61年の間に引き揚げられた工芸品で観察されています。

それらは、速やかに展示するため、PEGを数回塗布しただけでした。しかし、塩が出現すると、それらの多くはただちに前述のタンクで十分な処理を施すようにしています。

ヴァーサ号の保存にかかわっていた関係者は、早い時期から木材の析出物に注意を払いつつ、洗浄と脱塩に力点をおいでしていました。実際、工芸品類は保存処理に先立って、少なくとも1年間は定法通りに水中に保管されていました。その後も塩や脱色したシミが工芸品にときどき見つかりました。しかし、それらは少なく、散發的だったことからpHは測定されませんでしたし、誰も問題を感じていなかったため、木材の処理も行われないうままでした。

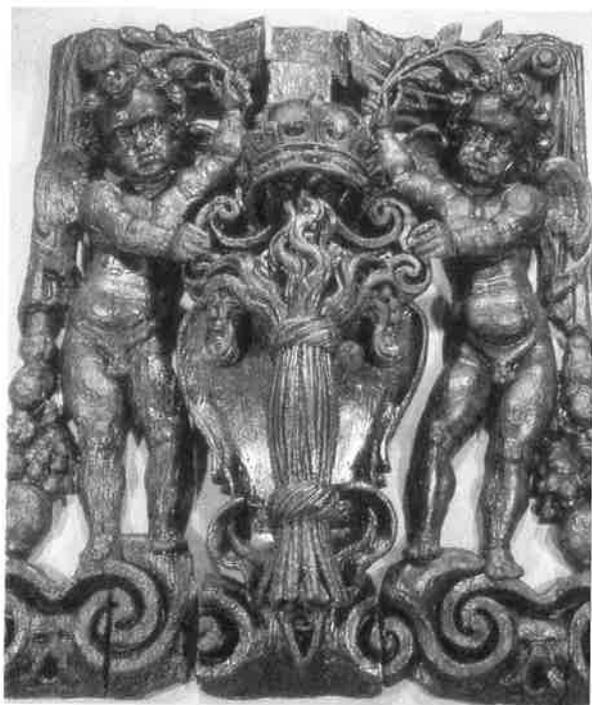


図9●角形船尾にとりつけられたヴァーサ号の紋章  
(写真撮影：ヴァーサ号博物館) (口絵カラー参照)



図10●彩色されたヴァーサ号の紋章のコピー。船上のすべての彫像は、もともとは明るい色で彩色されていた。顔料の調査の後、復元された。  
(写真撮影：ヴァーサ号博物館) (口絵カラー参照)

## 6. 塩析出の原因

2000年秋、塩析出が大発生しました。異常に雨の多いスウェーデンの夏に起因しています。雨は、参観者に不快感を与えるだけではありません。参観者が濡れた衣類と傘を館内にもちこむため、夏の数ヵ月間、展示室の湿度が上がり、設定基準湿度の60%を維持することが困難となり、70%以上に達することがしばしば起こりました。湿った空気の中で、木製の船は新たな平衡含水率へ適応し、吸湿性のPEGによってさらに多くの水分を吸収することになりました。ヴァーサ号で発見された結晶性硫酸塩の多くは容易に溶解するため、PEGの含水量が十分に高くなると溶けだして、相対湿度が変動するたびに木材中を動き回ることになり、水を介して運び込まれた酸素が、硫黄の酸化をさらに進行させます。秋になって、相対湿度が低下すると、木材はふたたび水を放出して硫酸塩濃度が高くなり、最後に塩が析出したのです。

マツ材は多孔であるため硫黄が簡単に浸透することから、もっとも影響をうけます。オークは堅くてしまっているため運搬建造部に使われていますが、硫酸に侵された部分は、多くの場合、辺材です。他の広葉樹もマツ材と同じくらいに傷んでいました。

これまでに、船内の約500ヵ所で塩析出が見つかっています。船体の外側の調査は最近始まったばかりですが、同様の塩析出が見つかっています。船上では、船倉と最下甲板がもっともひどく、pHが1～3の黄色いシミが多数見出されました。



図11●白と黄色の塩化合物の析出がひどい水夫の衣装箱  
(写真撮影：Lovisa Dal、ヴァーサ号博物館) (口絵カラー参照)



図12●司令官船室の甲板に析出した黄色の塩化合物  
(写真撮影：Lovisa Dal、ヴァーサ号博物館)



図13●装飾品に析出した白色の塩化合物結晶の細部  
(写真撮影：Stefan Evensen、ヴァーサ号博物館)

この黄色いシミは、硫黄イオンが低pHでナトリウムや鉄と反応してできるナトリウムジャロサイト( $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ )からなっていました。この不均一に分散した析出は、ある程度は保存処理の差に起因すると考えられます。ただし、船倉と最下甲板を除く船全体の表面は高分子量のPEG#4000で処理されており、PEGの被膜が酸素を遮断して硫黄の酸化を阻止して、その下の木材を保護していました。この処理によって、木材の湿気の吸収も遅くなります。船倉と最下甲板は、他よりマツ材が多く使われていたことと、オーク材の辺材が使われていたことなどの理由で、傷みが一段と激しかったものと推定されています。

## 7. 応急処置

定期的なpH測定を行った6ヵ月間に、何らかの対策を講じていなければ酸性値はますます低下したと予想されますが、酸を中和する目的で応急処置が施されま



図14●アルカリ溶液を浸した湿布で酸性部分を処理することにより、木材の劣化を一時的に防ぐことができる。  
(写真撮影：Stefan Evensen、ヴァーサ号博物館)

した。炭酸水素ナトリウム(重炭酸塩 $\text{NaHCO}_3$ )と炭酸ナトリウム( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )を2:1の比率で混合した5%溶液(pH10)を含んだ布で酸性シミを覆い、布がすぐに乾かないよう、その上からビニールで覆いました(図14)。pHが4を超えると表面に鉄が水酸化鉄として沈着します。この処理をした直後、pHは上がりますが、木の内部に新たな硫酸が生成するため、数ヵ月間かけてゆっくりとpHが下がります。より効率のよい処理法が開発されるまでの間、必要に応じてこのように再処理することでpHを調節しています。ただし、船体内部の表面など、このような処理ができない部分については心配が残りますが、それらの部位には酸素が達しにくいので問題も小さいと考えられます。

酸化速度をさらに低下させるため、2001年の初夏、より強力なエアコン装置がヴァーサ号博物館に設置されました。硫黄の酸化には一定の水分が必要であることから、相対湿度基準を $55 \pm 4\%$ に下げ、室温も最高 $20^\circ\text{C}$ に保つようにしました。とはいえ、参観者が快適に感じる環境との問題があり、それには限界もあります。

船のさまざまな場所に21個の設置型、10個の可動型の温度・湿度センサを設置して、周囲環境を10分間ごとに記録し、それをコンピュータに記録しています。周囲が乾燥すると木材の収縮とひび割れが生じます。湿度が少し変化するだけで、船の構造に重大な変化が生じます。変形が一番の心配です。したがって、引き揚げ以来、船の状態は絶えず調節されています。

エアコン装置を設置して相対湿度を下げてから初めての調査が、2001年秋に実施されました。予想どおり、木の動きは以前より大きくなっていました。数mm程度ですが、数ヶ月間で船全体が左舷側に傾いていたことから、展示室の最低相対湿度を考慮する必要が生じました。これからの最重要課題は、含水率の増減にともなって水や塩類が移動して、木材の内部へ酸素を運び込まないよう周囲環境を一定に保つことです。

## 8. 今後

船の安定性を危険にさらすことなく木材のみを乾燥させることで、進行中の酸化を食い止めることは不可能です。この問題を解決する唯一の方法はありません。いくつかの手段を組合せることが重要です。還元型の硫黄が酸化される要因を考慮した、以下の点について検討する必要があります。

- ①水への接触
- ②酸素への接触
- ③温度
- ④触媒の存在

これらの因子のどれかを除去したり減少させることで、硫酸の生成をかなり遅らせることができます。

これからの研究課題は、硫黄の酸化過程を触媒する鉄をどうするかということです。ヴァーサ号の場合、その触媒は鉄です。触媒する微生物の存在も考えられますが、いまのところ検出されていません。海底に横たわっている間に腐食した鉄製ボルトからの鉄が、かなりの量、木部に浸透しています。しかも、引き揚げ

前、船体を補強するために約8,500本もの新しいボルトがもとの穴につけられました。これらのボルトも腐食が始まっています。それらを取り除かないかぎり、長期にわたって鉄イオンを供給し続けることになります。また、鉄がPEGの分解を引き起こす徴候もみられます。その他いくつかの理由から、鉄製のボルトを不活性なものに交換することが検討されています。最良のボルトは、おそらくチタン製であると思われます。

一方、鉄イオンを中和するためにキレート剤であるEDDHMA (ethylene-diimino-bis (2-hydroxy-4-methylphenyl) acetic acid) の使用が検討されています。このキレートは、鉄ときわめて強い複合体を形成し、少なくとも4~11の広いpH範囲で効果があるため期待されていますが、複合体が形成されると木の色が赤くなるという難点があります。しかし、種々の事情から、このことはあまり大きな問題とは考えられません。ヴァーサ号の大部分は、黒いオーク材でできているため、この着色はほとんどみえないと予想されます。

繊細な作品については、彫刻品をコピーしてエポキシ樹脂で型をとることも実行されています。

## 9. 協力

ヴァーサ号博物館では、スウェーデン国立遺産局とスウェーデン国内の大学教授の協力を得て、木材中に生成されつつある硫酸について研究を進めています。それにより、蛍光X線分析法など以前にはあまり応用されていなかった解析も行われるようになりました。また、これら

の問題に、近々2人の博士課程の大学院生がかかわることになっています。塩の析出は世界共通の問題であることから国際的な協力が重要で、ヴァーサ号博物館と西オーストラリア海洋博物館の間での情報交換も始まっています。

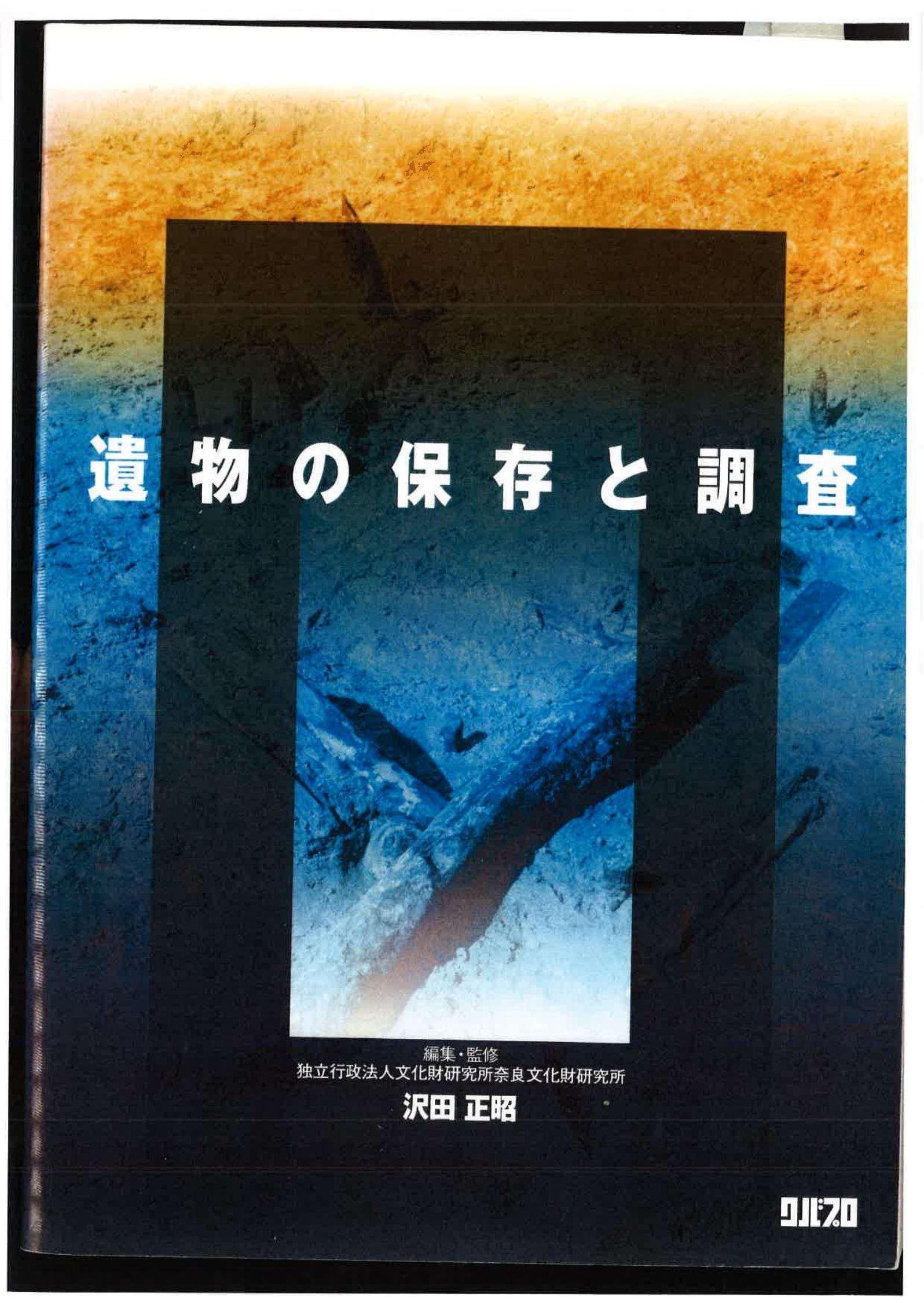
ヴァーサ号の内部に大きな塩の析出が見つかって約1年が経過した今日、長期的な解決方法を探る努力が続けられています。現状を保つ応急処置と並行して、より多くの分析がなされ、徹底的な研究が計画され、基金が集められています。将来の船の処理方法がいかなるものであろうと、その場かぎりの処理以上のものが必要になることは確かです。たとえば、鉄の供給源である現在のボルトを交換しないかぎり、いかなる大処理を始めても無意味です。また、ヴァーサ号が休める新しい揺りかごが建設されるまで、効果的かつ安全にボルトを交換することはできません。解決すべき問題点が多く残さ

れており、これの解決には長期間を要することから辛抱強く取り組んでいくことが重要になっています。

- \*1 分析は、ストックホルムのスウェーデン国立遺産局で行われた。
- \*2 分析は、スウェーデンのウプサラ大学で行われた。
- \*3 分析は、アメリカのスタンフォードサイクロトロン放射線研究室 (SSRL) で行われた。

#### 参考文献

- 1) Claus, G. 1986. *Wasas historia 1956 - 64, upptäckt, bärgning, utgrävning* (The History of the Vasa 1956-64, discovery, salvaging, excavation). Statens Sjöhistoriska Museer. Stockholm.
- 2) Sandström, M; Jalilvand, F; Persson, I; Gelius, U; Frank, P. 2001. Acidity and Salt Precipitation on the Vasa; The Sulfur Problem. In : *Proceedings 8<sup>th</sup> ICOM-CC WOAM Conference. Stockholm 11 - 15 June 2001*. In press.



# 遺物の保存と調査

編集・監修

独立行政法人文化財研究所奈良文化財研究所

沢田 正昭

9170

ISBN4-87805-023-3

C0040 ¥2500E

定価：本体価格2,500円＋税



9784878050237



1920040025001

遺物の保存と調査

はじめに 新世紀の考古科学の再構築  
奈良文化財研究所 沢田正昭

第I部 有機遺物の保存と調査

第1章 水浸出土木材の劣化状態  
奈良文化財研究所 高妻洋成

第2章 木製文化財の保存と展望  
—ヨーロッパにおける遺跡出土木材の  
保存法を中心として—  
ハンガリー国立博物館  
アンドラス・モルコス  
奈良県立橿原考古学研究所  
今津節生

第3章 戦艦ヴァーサ号の保存  
—処理方法と現在の問題点—  
国立海洋博物館 ヴァーサ号博物館  
ロヴィサ・ダル  
イングリッド・ハル・ロス

第4章 糖アルコール含浸法による  
水浸出土木材の保存  
奈良県立橿原考古学研究所  
今津節生

—コラム—

○糖アルコール含浸法の進展と注意点  
—はじめて糖アルコール含浸法を  
試みられる方へ—  
財団法人大阪市文化財協会  
伊藤幸司

簡易マニュアル

糖アルコールを用いた保存処理の方法

第5章 水浸有機質遺物の発掘から  
保存処理まで  
奈良文化財研究所 高妻洋成

—コラム—

- X線CT法の応用  
—保存処理した出土木材の内部の状態—  
奈良文化財研究所 高妻洋成
- 出土漆器の保存と修復  
くらしき作陽大学 北野信彦
- 遺跡現地での保存処理  
奈良文化財研究所 高妻洋成
- 年輪年代法  
奈良文化財研究所 光谷拓実
- 木材の同定  
奈良文化財研究所 大山幹成
- 有機質遺物、特に繊維品の材質調査と保存  
奈良文化財研究所 佐藤昌憲

第II部 無機遺物の保存と調査

第1章 古代青銅器の調査  
チェイスアートサービス  
(前；フリーアー美術館)  
トーマス・チェイス

第2章 古代日本の金  
奈良文化財研究所 村上 隆

第3章 日本出土ガラスから探る古代の交易  
—古代ガラス材質の歴史の変遷—  
奈良文化財研究所 肥塚隆保

第4章 正倉院宝物を科学する  
宮内庁正倉院事務所 成瀬正和

第5章 最近発見された古代壁画の分析と保存  
奈良文化財研究所 沢田正昭

HUBA PRO.