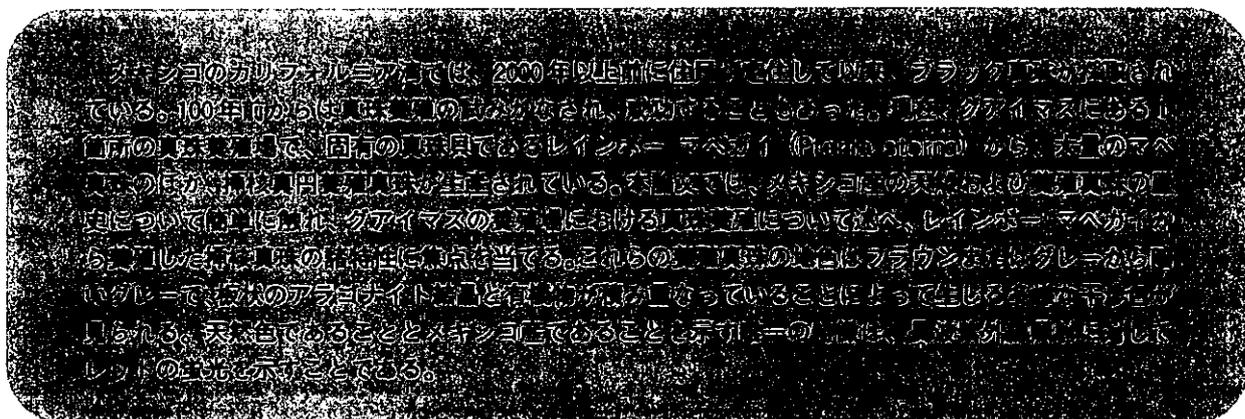


メキシコ、カリフォルニア 湾産養殖真珠

ロア キーファート、ダグラス マクローリン モレノ、エンリケ アリスメンディ、
ヘンリー A. ヘンニ、シェーン エレン共著



カリフォルニア湾産真珠の歴史は、真珠そのものに劣らないほど興味深く（図1）、古くから多数の文献に登場している（たとえば、ジョージ、1971；カリニョおよびモンテフォルテ、1995；ストラック、2001；マクローリン モレノ、2002；マクローリン モレノおよびアリスメンディ カステージョ、2002）。したがって、歴史についてはここではこうした文献をもとに簡単に触れるに留めることにする。

「真珠海」—カリフォルニア湾の別名—に初めて来たヨーロッパ人は、有名なコンキスタドールのエルナンコルテスが派遣したスペインの探検家、フォルトウンヒメネス船長であり、1533年に原住民が大きな暗い真珠を着用しているのを目にした。そのときから20世紀初頭まで、バハ カリフォルニアの歴史はこの真珠の採取と密接に関係し、数十年にわたり、真珠は、金、銀や香辛料よりも重要な輸出品であった。

カリフォルニア湾では300年以上前から、ヨーロッパとメキシコの起業家が原始的な潜水法で上質な暗い天然真珠を採取してきた。19世紀末期に潜水服が導入されたことにより、従来より深い場所にある真珠生息地まで潜ることが可能になった。しかし、やがて、乱獲により

真珠が枯渇し、真珠採取が停止した。

1903年、ガストン ビベスがラパス湾にバハ カリフォルニア半島初の真珠採取場を設立した。1914年7月、メキシコ革命の結果、真珠貝と器具が没収されたり破壊されたりした。この真珠採取場は最後の3年間に年間約150万個の真珠貝—パナマチョウガイ (*Pinctada mazatlanica*)—を浜揚げし（カレス・マカティネスおよびチャベス・ビラルバ、1997）、そのうちの9~11%から天然真珠が採取された

1930年代には、カリフォルニア湾の真珠生息地が十分回復し、真珠採取が再び可能になった。しかし、これらの真珠貝はパナマチョウガイではなく、珍しい色の比較的小さな真珠を生産するレインボー マベガイであっ

著者に関する情報と謝辞については本論文の末尾を参照すること。

ジ・エム・ス・&・ジ・エム・ジ・エム、Vol. 40, No. 1, pp. 26-38.

© 2004 ジ・エム・ス・&・ジ・エム・ジ・エム インスティテュート オブ アメリカ

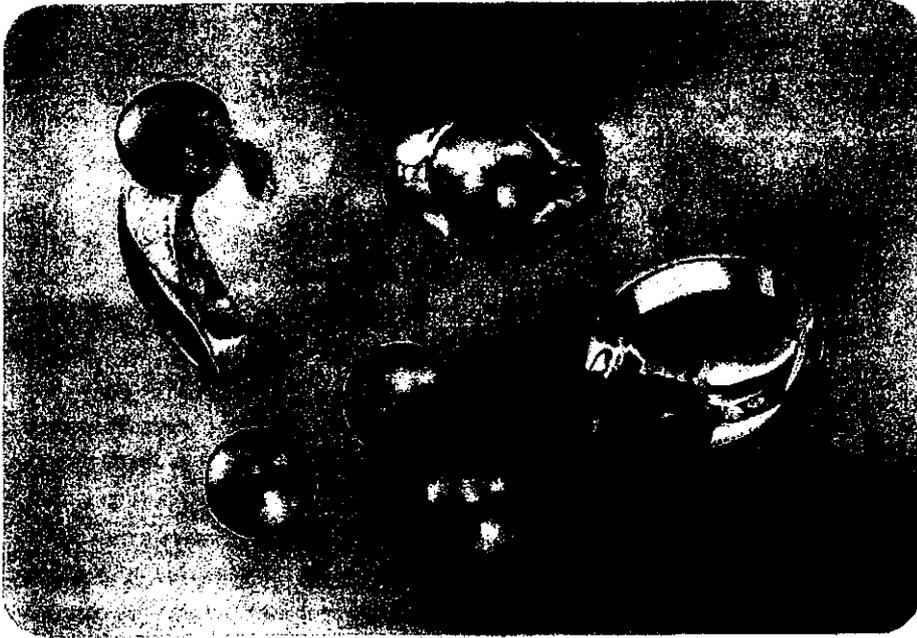


図1.
カリフォルニア湾産の美しい養殖真珠が市販されるようになっている。写真の養殖真珠の直径は9.5~10.5mm。コロンビアジェムハウス提供。写真© GIAおよびハロルド&エリカバンベルト。

た。その後、1936年、なぜか北から真珠貝が次々に死に始め、ほぼすべての貝が死亡した。1939年、メキシコ政府は残された生息地を保護するために真珠採取を禁止したが、残念なことに貝の死亡は止まなかった。この絶滅はその後30年間、謎のままであったが、1936年初めのフーバーダム建設により、コロラド川の流れが阻まれ、カリフォルニア湾に流れ込む栄養物が枯渇し、その塩分濃度が著しく変化したのではないかと考えられた(アハレス・ホロ、1983)。近年はこの地域で天然真珠が採取された例はごく少数しか報告されていない(たとえば、クラウニング・シム、1991; ハーウィット、1992; ウェンツェル、1995)。

1966年頃、カリフォルニア湾の2箇所の真珠採取場が、養殖真珠を生産するべく、パナマチヨウガイとレインボー マベガイの養殖を始めた。しかし、商業規模の真珠養殖場2箇所が開業したのはわずか10年のことである。そのうちの大きな方であるペルラス デル マルデ コルテス—カリフォルニア湾の別名をとって「コルテス海」産真珠という意味—は、グアイマスにある(ラドラ、1998を参照)。この真珠養殖場は他方より生産量が多く、技術的にも進んでいる。我々の知る限り、中南米で真円真珠を養殖しているのはここだけである。著者の一人は2000年にこの養殖場を訪れた(キファート、2002を参照)。スタッフ メンバーであるマクローリン モレノとアリスメンディの助力を得て、この養殖場と主にその真円養殖真珠について述べ、また、タヒチ産養殖真珠や色処理養殖真珠との差異を識別することができるよう、新しい宝石学および分光学的データを入手した。今回の研究では、レインボー マベガイから養殖される

真円真珠に重点を置く。なぜなら、マベ真珠よりはるかに価値が高く、また、パナマチヨウガイから養殖される真珠は現時点では研究目的でのみ生産されており、市販はされていないからである。

コルテス海産真珠の背景

真珠貝の生態 真珠貝はウグイスガイ科に属する二枚貝である。ウグイス科には、良質なマザー・オブ・パールを形成する2つの種である *Pinctada* と *Pteria* が含まれる。世界で確認されている真珠貝の種は40に満たず(白井、1994)、そのうちのわずか3種のアコヤガイ (*Pinctada fucata martensii* または *Pinctada imbricate*)、クロチヨウガイ (*Pinctada margaritifera*)、シロチヨウガイ (*Pinctada maxima*) から、世界の海水養殖真珠の約99.9%が生産している。このほかにも、商業規模での真珠生産によく用いられている海水真珠貝として、マベ貝すなわち penguin-wing oyster *Pteria penguin* がある。この貝は、マベ真珠や半円プリスター真珠の生産にのみ用いられている。

真珠貝は別個の性を持ち—ただし、個々の貝は性を変えることがあり、これは雄性先熟の雌雄同体現象と呼ばれる—体外受精で交配する。多数の生殖体、精子、卵子が水中に放出されるため、受精は不規則に起こる。受精すると、自由遊泳性のいくつかの幼生が形成される。やがて、稚貝が、岩、サンゴや貝殻などの適切な固い物質に止まる。この過程全体は、水温その他の要因に応じて18週間から34週間かかる。稚貝が定着すると成長は

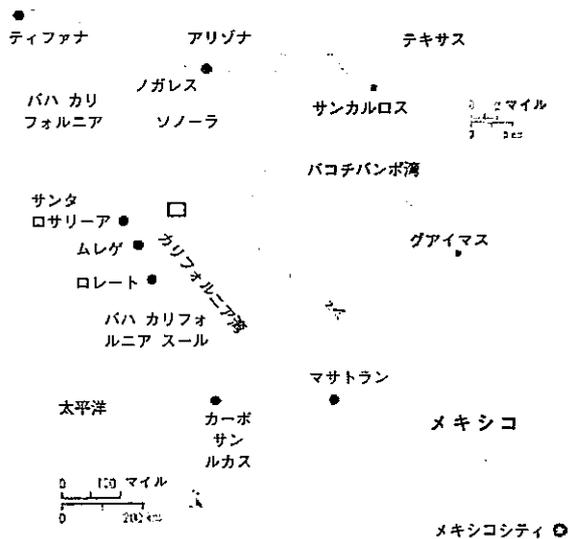


図 2. ソノラ州グアイマスのペルラス デル マル デ コルテス真珠養殖場は、カリフォルニア湾のバコチバンボ湾にある。

早く、1年目に長さが7cmに達することがある。挿核に適した8.5～10cmに達するには18～24週間かかる(マクロリン モノおよびアリスメンディ カステイジョ、2002)。

真珠貝は通常、干潮線から水深20mまでの部分に集団で生息し、足糸と呼ばれる丈夫な繊維の束で基底に付着

図 3. 真珠養殖場は、グアイマスの Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) の分校が所有する海岸線地帯にある。写真は、真珠貝を入れたかごが吊されている「長い線」の位置を示している。写真は © SSEF、ロア キーフアート撮影。



する。呼吸と摂食に適したえらで、微粒子と微生物を絶え間なく濾過することで栄養を摂る(マクロリン モノおよびアリスメンディ カステイジョ、2002)。

カリフォルニア湾には、*Madreperla* (パナマチョウガイ) と *Concha Nacar* (レインボー マベガイ) の2種類の固有の真珠貝が生息している。双方の種はソノラ海岸線地帯にも自然分布しているが、メキシコの太平洋岸沿いにも見られる。ただし、パナマチョウガイはバハカリフォルニア南部の西側には生息していない。パナマチョウガイの長さは20cmに達することもあり、長い間にわたり、この貝をインド太平洋のクロチョウガイの一変種あるいは亜種と考える研究者も少なくなかった(白井およびサノ、1981)。レインボー マベガイの長さは16cmに達することがあり、その貝殻はパナマチョウガイやクロチョウガイよりくぼんだ形をしている。レインボー マベガイの真珠層はよりイリデッセンスの強いマルチカラーをしており、他のいずれの真珠貝にも見られない金属シーンが認められる。「ウイング真珠貝」変種に属するが、真円一挿核一養殖真珠を形成することはできないと考えた者もいた(たとえば、白井およびサノ、1981)。ペルラス デル マル デ コルテスは双方の種から真円真珠を養殖したが、商業規模での生産が行われているのは、パナマチョウガイより色が豊かでバラエティに富んでいるレインボー マベガイのみである。

位置および交通手段 ペルラス デル マル デ コルテス養殖場は、ソノラ州の港町、グアイマスから約8kmのバコチバンボ湾に位置し(図2)、Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM; 図3)のグアイマス校が所有する海岸線地帯にある。この私有・私営の工科大学はメキシコ各地に分校を展開している。グアイマスには、アリゾナ州フェニックスから飛行機の直行便が出ている。また、陸路ではアリゾナ州ノガレスから自動車で4時間かかり、フェリーではバハカリフォルニア半島のサンタ ロサリーアから8時間かかる。グアイマスに到着すると、現地で「Tec de Monterrey」と呼ばれる大学までタクシーで行くことができる。真珠養殖場は観覧が自由であり、見学者は施設内を無料で見学することができる。年間8,000人の見学者が訪れ、その大半は米国から来る。

バコチバンボ湾は典型的な海洋湾であり、主に流出した雨水からなる淡水の影響をほとんど受けない。湾には多様な生態学的地位があり、砂、砂礫および岩からなる海底が豊かな環境をもたらしている。湾の大部分は深さ平均7mと浅いが、入口付近は20mまで急に深くなり、別の海洋環境を作り出している。

カリフォルニア湾は亜熱帯気候であるため、6月から9月までの夏季は通常、高温で乾燥しており、水温は

27～32℃ (80.6～89.6° F)、平均29℃ (84.2° F) でかなり蒸発する。冬季は主に強い北西風によってソノラの海岸線沿いに湧昇が生じるため、水温は15～25℃ (59～77° F)、平均19℃ (66.2° F) とはるかに冷たくなる。栄養に飛んだこの冷たい水の塊が深海から水面付近に移動することによって、真珠貝の生存に必要な葉緑素が豊富に生成される。

会社の構造と施設 1993年、ITESMの研究者であるセルジオ フェレル氏、マニュエル ナバ氏と著者の2人(マクロリン モレノとアリスメンディ)は、採算性があり技術的に可能な真珠養殖技術の開発に着手した。このグループはその後の1995年、北米で初めて養殖マベ真珠を大量に生産し、また、レインボー マベガイを用いた初の挿核養殖真珠を生産した。1996年にITESMからの資金援助が増えたために、主にメキシコでの真珠養殖を支援し、生産された真珠を国内外の市場で販売促進するITESM/ベルラス デ グアイマスというプロジェクトが開始された。2000年、この水産養殖部の一部門が、ベルラス デル マル デ コルテスという別個の民間会社になった。同社は今もなお、ITESMと連携している。

真珠養殖場は2ヘクタール(5エーカー)のラグーンを取り囲んでおり、そのラグーンで稚貝を採集し、真珠貝を養殖している。パラナという草葺き屋根の建物で陸上の作業をし、小さな真珠養殖用建物にX線装置を置き、また、そこで挿核作業を行っている。真珠貝の生産は、湾に配置された「稚貝採苗器」—真珠貝の幼生が付着する網袋—から集めた稚貝のみに依存している。パコチバン湾に真珠貝の幼生が多数、存在するのは、真珠養殖場の成熟した貝が卵子と精子を海に直接、放出し、そこで受精が起きることが主な理由である。したがって、成熟した真珠貝を養殖すればするほど、多数の稚貝を採集することができるという好ましいサイクルができあがる。野生の成熟した真珠貝も幼生を形成するが、上に述べた1939年のメキシコ連邦政府による真珠採取の禁止が今もなお有効であるために、天然の生息地から採取されることはない。

貝は、その年齢と大きさに応じて様々なかごに入れられ(図4および図5)、パイで支えた水面の「長い線」から吊される。かごは深さ3～4mで吊される。一度に養殖する貝の数は最大約25万個である。本論文の執筆時点で事業規模拡大の予定はないが、使用する貝の数は同じで、技術改良により養殖真珠の歩留まりを改善する短期的な計画はある。

挿核作業は、水温が25℃未満の10月から3月上旬にかけて行われる。テネシー川から採集したイシガイ科の淡水貝の貝殻から作成した核を用いて、5人もの挿核技



図4. レインボー マベガイの稚貝は、その年齢に応じて様々なタイプのかごに入れて養殖される。写真は© SSEF、ロア キーフアート撮影。

術者が同時に作業することができる。

浜揚げと生産 真珠養殖の結果は予測不可能である。生産される真珠の質をあらかじめ知る確実な方法はないが、ベルラス デル マル デ グアイマスでは2通りの方法で真珠の質を監視している。一つは、挿核後8週間が経過したすべての貝をX線で検査する方法である。この方法では、脱核していないことを確認し、また、核が貝の体の適切な部分に位置していることを確認することができる。この基準を満たさない貝は「不合格」とみなされるが、貝殻を開き、外套膜を押し戻し、「瞬間接着剤」のシアノアクリレートでマベ核を接着すればマベ真珠を養殖することができる。もう一つの方法では、真珠



図5.
挿核後、貝を平らなかごに入れて吊す。写真は© SSEF、
ロア キーフアート撮影。

を何度か無作為抽出して真珠の形成をより正確に評価する。

浜揚げは年に一度のみ、挿核から18～20カ月後に、通常は水温が上昇する6月に行われる。他の真珠貝にはより大きな核が再挿入されることがあるが、レインボーマベガイは最初の浜揚げ時に肉が取り除かれる。それは、再挿核が極めて困難であるためと、形成される真珠が他の貝の場合に比べて大きい光沢やカラフルさが劣るためである(ほか、2000)。天然真珠および「芥子」一脱核したり外套膜が傷ついたりしたために形成された無核養殖真珠一が時折、発見される。いずれもジュエリーに用いられる。貝殻はボタンに加工され、貝の肉は現地で販売されている。

レインボー マベガイの「芥子」は2～8mmと小さく、

概してバロック形である(図6)。天然真珠は通常、穿孔虫と虫嚢によって形成され、また、「芥子」より小さく丸いことが多い。大半は貝の外套膜にある極めて薄く脆い真珠袋の中で育つため、浜揚げ時に識別することが可能である。一般に、年間に6個から12個の良質な天然真珠が取れる。

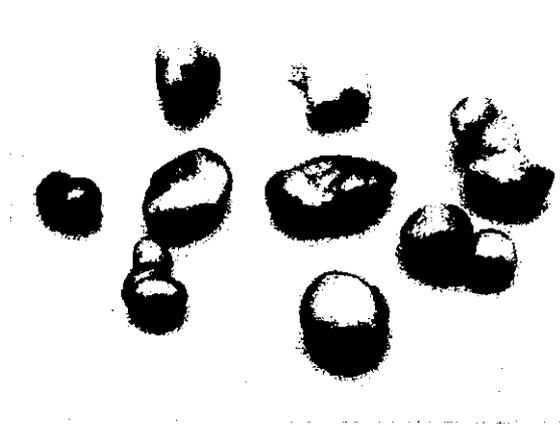
1996年2月のツーソンの宝石ショーで、初めて実験的に生産された12個の真円養殖真珠が紹介された。それ以後、生産量は年間約4,000個に増加し、大きさ、形状、表面の質は年々改良されている。2001年の浜揚げでは、平均的な大きさは7.5mmで、ラウンドまたはニア・ラウンドは全体のわずか5%であり、残りの95%はバロックであった。2002年には平均的な大きさは8.9mmになり、ラウンドまたはニア・ラウンドは全体の約25%に増加した。2005年からは年間生産量が1万個(10kg)で安定すると予想されている。

コルテス海産真珠の加工およびマーケティング

浜揚げ後、淡水が入った容器に真円養殖真珠を入れ、水を切った後に流水で数回、洗浄する。柔らかい木綿のタオルで軽く押さえて水気を切り、鉱物油の入った容器に入れておき、約6時間後に取り出してペーパータオルで拭き取る。

養殖される真珠の約半数は、メキシコの職人によってジュエリーに留められ、養殖場や他の観光地で販売される。この養殖真珠のマーケティングについては主に生産会社が管理しているが、米国の主要卸売会社である、ワシントン州バンクーバーのコロンビア ジェム ハウ

図6.
写真に示す長さ最大8mmの「芥子」真珠はレインボー マベガイで養殖されたもので、さまざまな形をしている。写真は© SSEF、ロア キーフアート撮影。



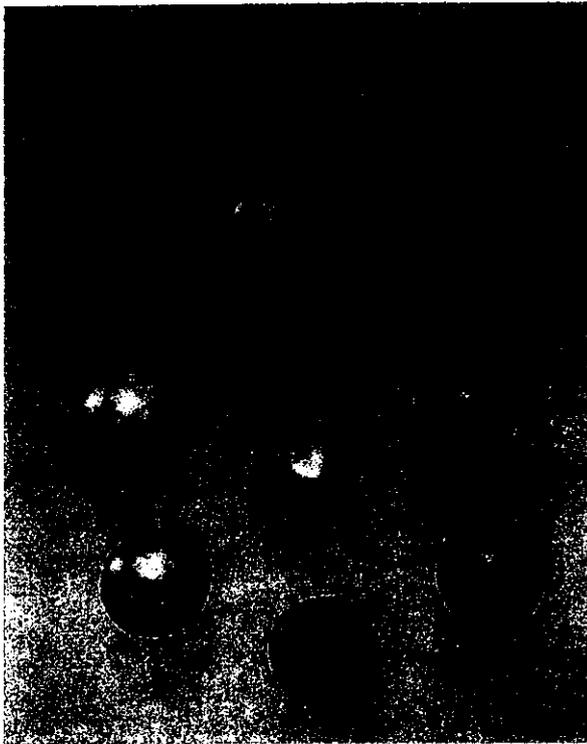


図 7.
直径9.0～11.5mmのこれらの真珠は、メキシコのカリフォルニア湾で大量に生産されている養殖真珠に見られる多様な色と形状をしている。コロンビア ジェム ハウス提供。写真© GIA およびハロルド&エリカ バンベルト。

スが先導するようになりつつある。マーケティングの主要目的は、メキシコ産黒養殖真珠とタヒチ産黒養殖真珠との違いを強調することである。メキシコ産の方が色が多様であり（図7）、最も多い色が年ごとに変わることがある。将来の目標には、卸売業者との間で安定した価格構造を築きつつ生産過剰を避けることなどがある。

素材および検査法

今回の研究では、20個の貝殻、約7～12mmの50個の真円養殖真珠、長さ4.5～8.3mmの11個の「芥子」をSSEFで検査した。いずれもレインボー マベガイから採取され、ペルラス デル マル デ コルテスで養殖されたものである。さらに、比較のために、同養殖場で採取されたレインボー マベガイの2個の貝殻と3個の真円養殖真珠をGIAで研究した（図8）。検査したサンプルはすべて、2000年に入手したものである。サンプルの色と質は様々にわたり、ジュエリー業界で見られる業務用品質は10～15%で、残りは真珠層が薄く表面にプレミッシュがあるために不合格となった。

真円養殖真珠中42個と「芥子」中10個について、ヒューレット・パッカードX線装置とアグファ インダストレックスX線フィルムを用いてX線検査を行った。養殖真珠20個の比重を静水法で求めた。すべての養殖真珠を対象に、システム アイクホルスト紫外線ランプを用いて長波および短波紫外線照射に対する反応を調べた。

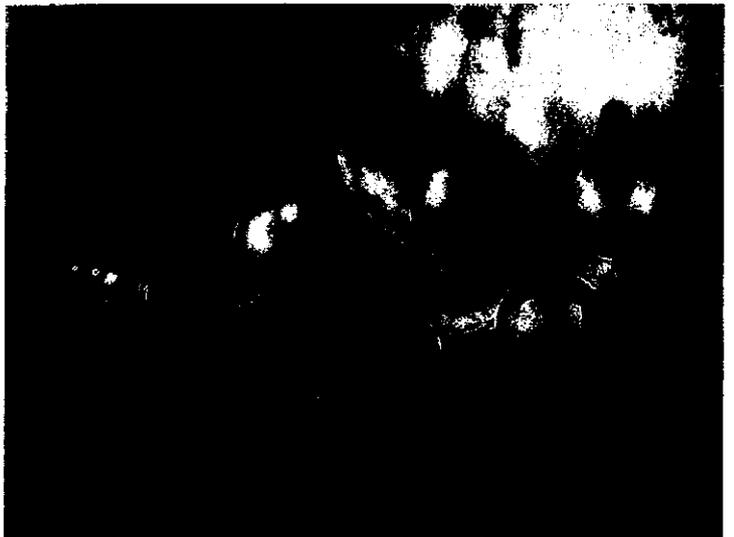
パーゼル大学のZMB SEMラボラトリーで、フィリップスESEM XL 30 FEGの走査型電子顕微鏡を用いて5個の貝殻断片を観察し、また、1個の養殖真珠の表面をラマン分光計に接続したカメラで撮影した。

図SSEFにて、12個の養殖真珠および1個の貝殻断片について、日立U4001分光光度計を用いて290nmから800nmまでの可視光線および紫外線範囲の反射スペクトルを収集した。GIAで同種の装置を用いて、3個の養殖真珠と1個の貝殻断片の特徴を調べた。さらに、GIAで、SLMアミンコAB2ルミネッセンス分光計を用いて、360nmと400nmの励起でルミネッセンス スペクトルを収集した。

SSEFにて、トラコー スペクトレース5000エネルギー分散X線分光計（EDXRF）を用いて、6個の養殖真珠の化学組成を定性的に調べた。

SSEFにて、別の6個の養殖真珠と1個の貝殻断片を

図 8.
写真に示すレインボー マベガイ養殖真珠中3個、すなわち、中央の直径6.7～8.2mmの「ゴールデン」、グレーおよび暗いブラウン サンプルをGIAで分析した。真珠の色はレインボー マベガイの貝殻（GIAコレクション30488番）の一部に似ている。写真はマハ タノアス撮影。



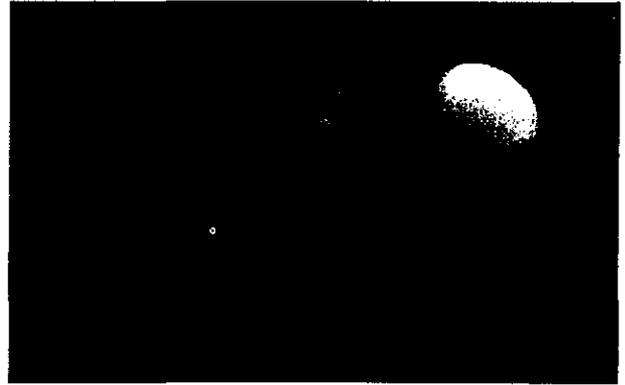
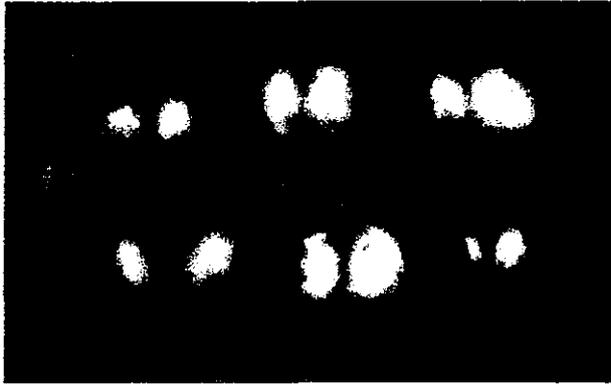


図9.
長波紫外線を当てると、メキシコ産養殖真珠（上列；直径6.7～8.2mm）は概して弱い～顕著なレッドの蛍光を発した。それに対し、検査したタヒチ産養殖真珠（左下および中央）は、ブルーイッシュ グレイおよびわずかにレディッシュ ブラウンの蛍光を発し、染色アコヤ養殖真珠（右下）は不活性であった。メキシコ産天然真珠の蛍光反応は、同産地で生産された養殖真珠の反応に似ている。写真はマハ タノアス（左）、シェーン エレン（右）撮影。

対象に、レニショー ラマン システム 1000 分光計に CCD-ペルティエ検出器と 514nm のアルゴン・イオンレーザーを搭載してラマン スペクトルを記録した。

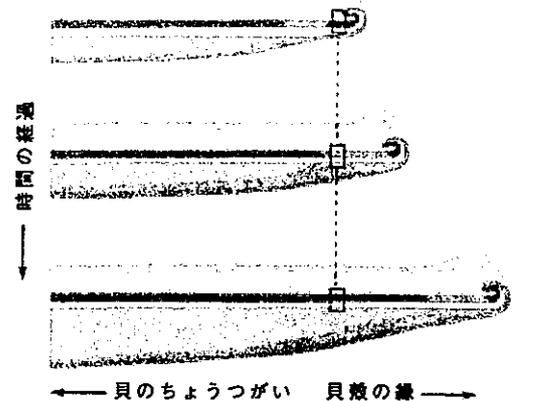
結果

物理的特性 メキシコ産養殖真珠で観察された色は、ブラウンまたはグレーから暗いグレーの地色と、オリエントとも呼ばれる、バイオレット、ブルー、イエロー、グリーンのオーバートーンから構成されていた。真珠の大きさは主に、挿入した核の大きさに左右され、約7mmから11mmにわたっていた。大きめのサンプルにはキャビティが内包されていることが多く、はずれた核を伴うこともあった。X線画像には、アコヤその他の養殖真珠の場合と同じパターンが写っていた（ハニ、1995、1997、2002；ストラック、2001）。概して画像ではより明るく見えた球形の核が、同心のわずかに暗い真珠層に囲まれていた。SSEFでX線検査を行った業務用品質の養殖真珠に見られる真珠層の厚さは、0.8～1.2mmであった。不規則で大きな養殖真珠—セミ・バロックまたはバロック—のX線画像では、核と真珠層の間に、キャビティか有機物の層であることを示す、大部分が不規則な暗い層が見えた。

たいていの場合、「芥子」はバロック形であり、グレーの地色と、バイオレット、ブルー、イエローおよびグリーン of 鮮やかなオーバートーンが見られた。これらのサンプルのX線画像では、大半の「芥子」と同様、比較的薄い真珠層に囲まれた不規則なキャビティがしばしば中央に認められた。

図10.

下の図は、貝の外套膜によって順に堆積する物質、すなわち、コンキオリン、柱状カルサイト、アラゴナイト プレイトレットを示している。四角で示した位置に形成される物質は時間の経過と共に変わる。マザー・オブ・パール—アラゴナイト プレイトレット—が最後に形成される。
© SSEF、2004。



- | | |
|--------|--|
| 本
体 | <input type="checkbox"/> 内側の外套膜の上皮組織 |
| | <input type="checkbox"/> 結合組織 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> コンキオリンを形成する外側の外套膜の上皮組織 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> カルサイトを形成する外側の外套膜の上皮組織 |
| 膜
層 | <input checked="" type="checkbox"/> アラゴナイトを形成する外側の外套膜の上皮組織 |
| | <input type="checkbox"/> マザー・オブ・パール層（アラゴナイト プレイトレット） |
| | <input checked="" type="checkbox"/> 非真珠層（柱状カルサイト） |
| | <input checked="" type="checkbox"/> コンキオリン（殻皮） |

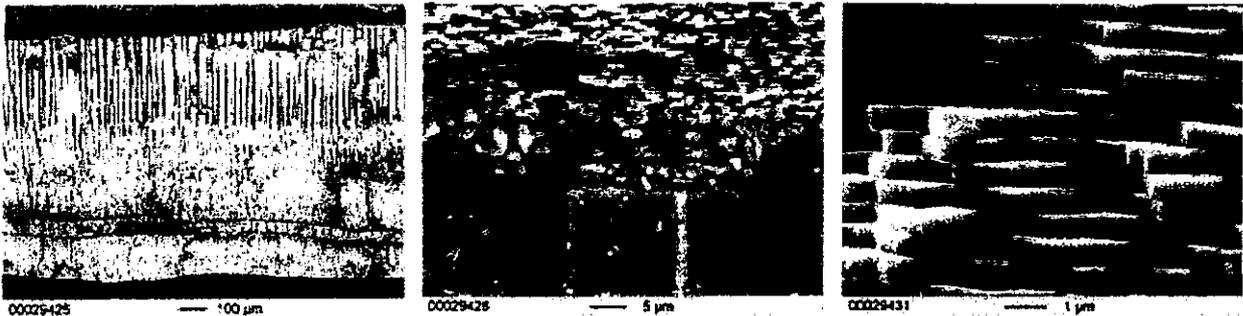


図 11.

上に示す SEM 画像には、レインボー マベガイの貝殻断片の微細構造が写っている。左の画像からわかるように、貝殻の大部分は柱状のカルサイトとそれに付随する平板状の成長—アラゴナイト—からなる。倍率を上げると（中央）、柱状から平板状への成長の変わり目がはっきり見える。アラゴナイトの左側には右側より不規則な成長パターンが見られる。右の写真は、真珠層に見られる厚さ約 500nm のアラゴナイト「タイル」の積み重なりを拡大したものである。

キャビティのない真円養殖真珠の比重は 2.45～2.76 であり、キャビティのあるものの比重はそれよりはるかに小さく、1.54～2.17 であった。これらの数値は、純粋なアラゴナイトの比重である 2.94 より小さく、有機物やキャビティの存在によって変わった。

分析した養殖真珠の大多数に相当する約 95% は、長波紫外線照射に対して弱い～顕著なレッドの蛍光を発した（図 9）。

微細構造 レインボー マベガイの貝殻断片を用いて、後にリウその他（2003）が用いた方法に似た手法で、強いイリダッセンスを示す真珠層の構造を調べた。走査型電子顕微鏡（SEM）画像から、他の *Pinctada* および *Pteria* の貝殻に見られるものと同じ、外側から内側に向けた一連の CaCO_3 組成が判明した（ワイス、1970；図 10）。それは、柱状のカルサイトに平板状のアラゴナイトが重なったものであり（図 11）、このことはラマン スペクトルによって裏付けられた。柱状のカルサイトから平板状のアラゴナイトへの変り目は、貝殻の内面にも見え（図 12）、アラゴナイト タイルは当初、柱状のカルサイトの両端に堆積していた。

レインボー マベガイの真珠層の微細構造を図 11 の中央および右に示す。平板状アラゴナイトの平均厚さは 500nm で、グリーン光の波長に近かった。

養殖真珠の真珠層の表面を形成する鱗状のアラゴナイト タイルを図 13 に示す。所々に鱗状のアラゴナイトがらせん状に並んでいるのがわかる（図 14）。

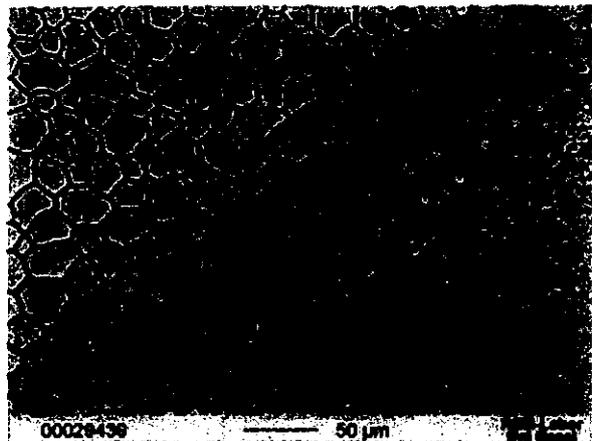
反射スペクトル 図 15 の上のスペクトルは、メキシコ産レインボー マベガイ養殖真珠の典型的な紫外線・可視光線反射スペクトルである。ポルフィリンに由来すると思われる吸収帯が 400～405nm 付近に出現している

（ブリットン、1983）。この吸収は、タヒチ産ブラック養殖真珠にも見られる（図 15 の下のスペクトルを参照）。しかし、タヒチ産のスペクトルに出現している 700nm 付近の明瞭な吸収極大は、メキシコ産養殖真珠の紫外線・可視光線スペクトルには見られない。これらのスペクトルの間にはほかにも、より微妙な差異が認められる。

ルミネッセンス スペクトル 養殖真珠のルミネッセンス スペクトルには、618nm の広い蛍光特徴とそれよりは弱い 678nm の蛍光特徴が出現した（図 16）。これらの特徴はレッドの蛍光の原因であり、暗い色のクロチョウガイ養殖真珠で記録されたものより強い（エリン、

図 12.

レインボー マベガイの貝殻の内面を SEM で撮影したこの画像には、柱状のカルサイトによって生じる多角形パターン（左上）に平板状アラゴナイト（右下）が重なっている様子が写っている。



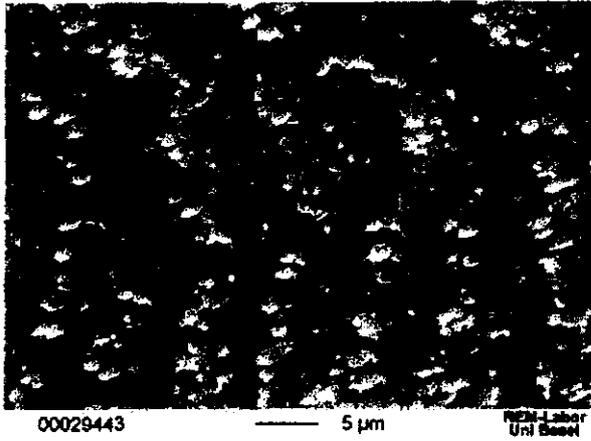


図13.
養殖真珠の表面を歯でこするとザラザラした感じがするが、その原因は、このSEM画像に見られるアラゴナイト タイルである。



図14.
このメキシコ産養殖真珠の表面のアラゴナイト層はらせん模様をしている。顕微鏡写真は© SSEF、ロア キーファート撮影。倍率100倍。

2001)。後者では、678nmの比較的弱いピークは存在しないことが多い(図16を参照)。

化学組成 メキシコ産養殖真珠の化学組成は他の海水養殖真珠のものと似ており、Caが主成分で微量のSrが含まれていた。海水養殖真珠の場合に予想されたとおり、Mn濃度はEDXRF分析装置の検出限界を下回っていた(カトマンズバウアーおよびヘニ、1994)。

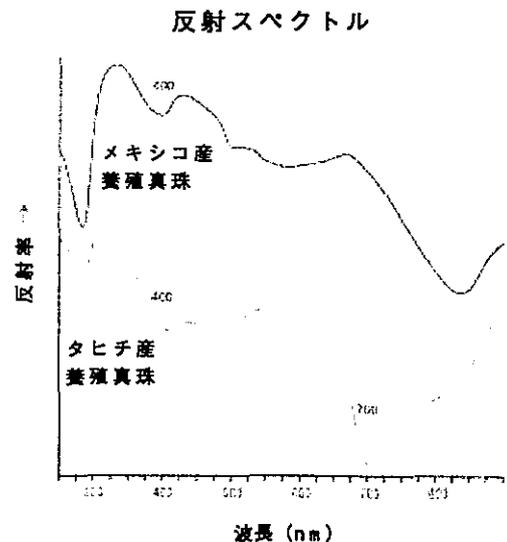
ラマン スペクトル レインボー マベガイの貝殻および養殖真珠のラマン スペクトルでは、1000 cm^{-1} から高波数側に向けた蛍光の急激な増加が認められ、サンプルの蛍光が全体的に強いため弱くなっているアラゴナイト バンドが210、705、1084 cm^{-1} に出現した。1100 cm^{-1} から1800 cm^{-1} にかけて、コンキオリンやポルフィリンなどの様々な種類の有機物に由来する、1260、1320、1565 cm^{-1} 付近を中心とするいくつかの広い吸収帯が認められた(図17の上)。これらの吸収帯の強度は色の強度に比例して増した。タヒチ産ブラック養殖真珠のラマン スペクトルにも類似の特徴が出現した(図17の下)。

検討

色因 養殖真珠の暗い地色は、アラゴナイト層の間に存在するコンキオリン(およびポルフィリン)層によるものである(ウェツェル、1998を参照)。イリデッセンスについては、アラゴナイト タイルと有機物の微細構造、

すなわち層構造に由来するとされている(ワグ、1981; ゴーチエおよびアジャックス、1989; リサその他、2003)。メキシコ産養殖真珠に見られる、バイオレット、ブルー、イエ

図15.
タヒチ産クロチョウガイ養殖真珠の紫外線・可視光線反射スペクトル(下)では、典型的な700nmの吸収特徴が認められる。これは、研究対象のメキシコ産レインボー マベガイ養殖真珠には見られなかった。



ローおよびグリーンのイリデッセンスを示すオーバー
トーンは、光が通過し、アラゴナイトとコンキオリンの
薄い層が交互に積み重なった部分に反射したときの干渉
によって生じる (フリップおよびロスマン、1988)。我々のサン
プルが呈したイリデッセンス カラーは、カリフォルニア
湾産天然真珠に見られるものに酷似しており (カーニョ
およびモンテフォルテ、1995)、天然アワビ真珠の色に似たケ
ースもあった (たとえば、ウェンツェル、1998)。

カルサイトおよびアラゴナイト成分は、同じ外部外
套膜によって形成されるが、形成される時期は異なる。
この観察結果と説明は、ローベンスラムおよびバイナー
(1989)、ガトマンスバウアーおよびヘンニ (1994)、ヘ
ンニ (2002) のものと一致する。図11と図12は、柱状
のカルサイトの端に最初にアラゴナイト タイルが堆積
した様子を示している。レインボー マベガイの貝殻断
片の走査型電子顕微鏡写真から、平板状アラゴナイトの
平均厚さが、グリーン光の波長に近い $0.5\mu\text{m}$ すなわち
500nmであることが判明した。したがって、層の間隔が
干渉現象とイリデッセンスをもたらすのに適している。
アラゴナイト層は主に平行であるが、わずかに不規則な
部分もある (図11)。この波打った構造は過去に、同じ
く極めて強いイリデッセンスを示すアワビの貝殻で観察
されている (ヘンニ、2002)。したがって、この構造も、レ
インボー マベガイの貝殻および養殖真珠サンプルにイ
リデッセンスをもたらす原因となっている可能性がある。

上述のとおり、貝殻にも真珠にも一定量のコンキオ

リンとポルフィリンが含まれている。コンキオリンは繊
維状タンパク質であり、ポルフィリンは自然発生的なテ
トラピロール色素である。このような有機物の網状構造
は、個々のアラゴナイト タイルの形成に不可欠である
が、我々のSEM画像にはその形跡はまったく認められな
かった。これについては、この有機物の含水量が大きく、水から引き上げたときに水分が抜けて縮んだためと
思われる。貝殻に存在するポルフィリンは、長波紫外線
やブルー光を当てたときの、レッド、ピンクもしくはレ
ディッシュ ブラウンの蛍光から識別することができる
場合が多い (コフポート、1949)。この蛍光は、620nm付近の
蛍光放射ももたらす (ヨシその他、1987a、1987b)。これ
に似たレッドの蛍光が我々のサンプルで記録された。

ポルフィリンおよびコンキオリンの存在は養殖真珠
のラマン スペクトルにも認められ、1260、1320、
1565 cm^{-1} 付近を中心とするいくつかの広い吸収帯が観察
された。著者の一人 (エレン) がある種類のポルフィリ
ン、すなわちウロポルフィリンについて記録した基準ス
ペクトルにはこれらの吸収帯が存在していたが、他の有
機物でも同じ領域にこのような特徴が認められた。有機
物に由来するとされた吸収帯は、地色の強度が上昇する
につれて増加した。ポルフィリンは、タヒチ産クロチョ
ウガイ養殖真珠の色素として述べられており (コフポート
およびアジャックス、1989 ; イワハシおよび赤松、1994)、また、レ
インボー マベガイの色素としても述べられている (赤
松、私信、2003)。これらの2種類の養殖真珠が示す
ラマン スペクトルが似ているのはこのためである (図
17)。

図16.

典型的なメキシコ産レインボー マベガイ養殖真珠を365nm
で励起すると、ルミネッセンス スペクトルにポルフィリン
に由来する618nmと678nmの特徴が出現した。典型的なク
ロチョウガイ養殖真珠について、ほぼ同じ条件下で記録し
たルミネッセンス スペクトルでは、618nmのはるかに弱い
発光が見られ、678nmの特徴は認められなかった。

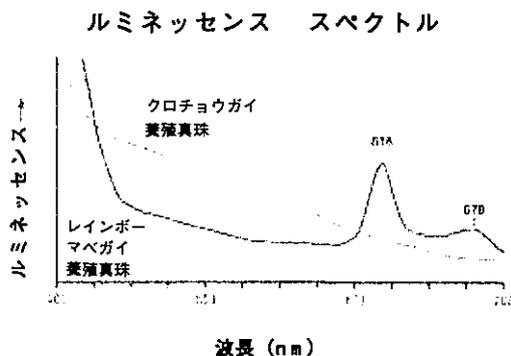
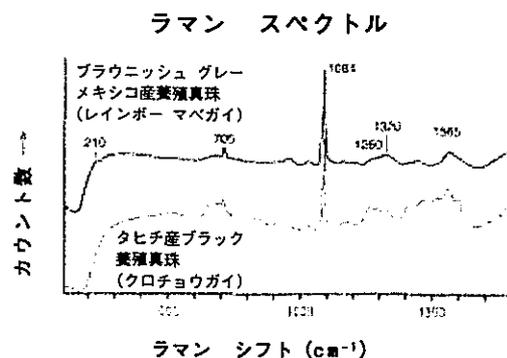


図17.

メキシコ産養殖真珠のラマン スペクトル (上) とタヒチ産
ブラック養殖真珠のラマンスペクトル (下) が似ているのは、
双方にポルフィリンが色素として存在しているためである。
蛍光による影響を取り除くためにスペクトルの基線補正を
行っている。



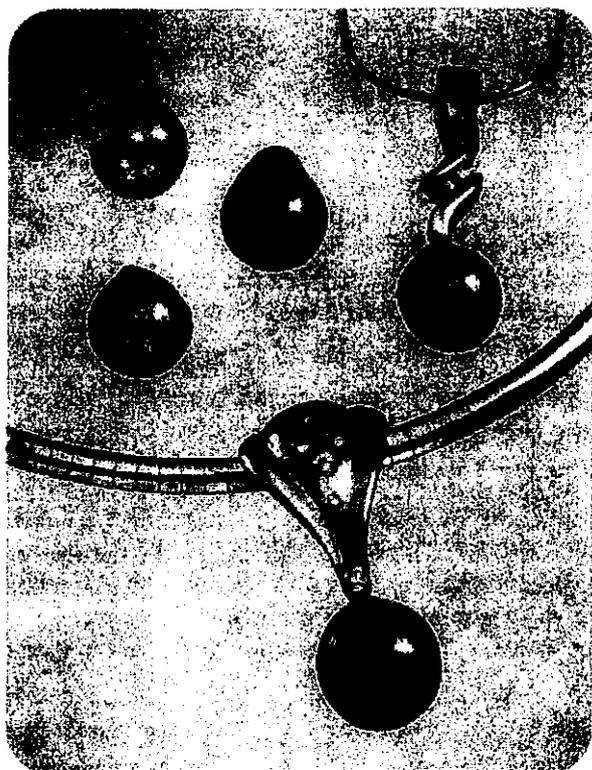


図 18.

メキシコでレインボー マベガイから養殖されている真珠には、ブラウンまたはグレーから暗いグレーの地色と美しいイリデッセンスが見られる。上の写真に示すように、風変わりなバロック形のほか、球形がある。写真は、長さ最大 12.5mm のルースと、18K のゴールド ジュエリーに留められた真珠。コロンビア ジェム ハウス提供。写真 © GIA およびハロルド&エリカ バンベルト。

タヒチ産養殖真珠との差異の識別 メキシコ産養殖真珠はレッドの長波紫外線蛍光を呈するが、タヒチ産養殖真珠にはこの蛍光は見られず、概して不活性〜わずかにレディッシュブラウンである (エルン、2002; 図 9)。ポルフィリンは事実上、特に多い蛍光性物質であり (キルホルム、1990)、ハーウィット (1992; 2000) によると、レッドの蛍光はカリフォルニア湾産真珠に固有の特徴である。

さらに、ポルフィリンが存在すると、通常は、存在するポルフィリンの緻密な構造に応じて、390nm から 425nm までの間に強い吸収特徴が出現する。この吸収は B 帯または、発見者にちなんでソーレー帯と呼ばれる (ブリット、1983)。メキシコ産レインボー マベガイの場合、この吸収特徴が 400 ~ 405nm 付近に出現したため、この波長の光を当てると、貝殻や真珠に含まれたポル

フィリンから強い蛍光が発するはずである。

レインボー マベガイの反射スペクトルとクロチョウガイの反射スペクトルの間における最大の差異は、レインボー マベガイでは 700nm の吸収特徴が見られないことである。この特徴はクロチョウガイに特有のものである (図 15; ガーベルおよびケラム、1989; イワシおよび赤松、1994; エルン、2002 も参照)。

人工着色ブラック真珠との差異の識別 コルテス海産真円養殖真珠は大きさがアコヤ養殖真珠とほぼ同じであり、また、ブラック染色あるいは照射が施された中国産淡水養殖真珠とは異なり、挿核が行われるために、天然色であることを識別することが重要になる。1930 年代初頭には日本で、硝酸銀を用いて黒いアコヤ養殖真珠を生産する試みがなされた (ストラック、2001)。この処理は今もなお行われているが、ほかにもいくつかの人工着色法が開発されている (マクラーおよびミス、2000; ストラック、2001)。硝酸銀処理は比較的検知しやすく、X 線検査を行うと、硝酸銀が X 線を吸収するために核と真珠層との間に白い線が写り、また、X 線蛍光分析では銀が検知される。硝酸銀処理を識別する方法としてはほかにもラマン分光法があり、天然色ブラック養殖真珠には見られない 240cm^{-1} の吸収帯 (キファートその他、2001) が出現する (図 17 を参照)。

照射や有機染料による染色などの他の処理は、鑑別がはるかに困難である。長波紫外線照射に対する蛍光は一つの鑑別基準である。カリフォルニア湾産の天然真珠 (カリニョおよびモンテフォルテ、1995) と養殖真珠に特有のレッドの蛍光は、有機染料や照射で人工着色されたものには見られず、こうした真珠は不活性か弱いホワイトの蛍光を発する。

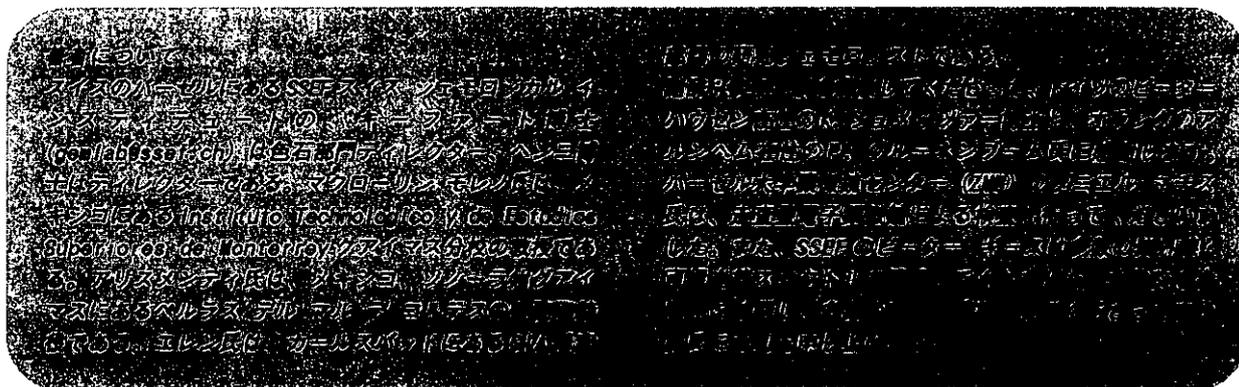
結論

カリフォルニア湾は、ブラック養殖真珠の商業生産が行われている産地としてはタヒチより知名度が低い。カリフォルニア湾産天然真珠はスペインによる征服の時代から高く評価されてきたが、数十年間、極めて稀少であった。1990 年代末期、カリフォルニア湾での真珠養殖が初めて商業ベースに乗ることとなった。この地域で養殖される真円真珠はレインボー マベガイから産し、美しいブラウンまたはグレーから暗いグレーの地色に様々なオーバートーンが見られる (図 18)。メキシコにある営業所とツーソンの宝石ショーで直接、販売されている。米国の主要卸売会社はコロンビア ジェム ハウスである。この養殖真珠の大きさは、ブラックの人工着色が施されることが多いアコヤ養殖真珠とほぼ同じであるため、識別に役立つ特徴を知る必要がある。

暗い色をした他の養殖真珠と同様、カリフォルニア湾産養殖真珠の地色も、アラゴナイト層に挟まれたコンキオリンおよびポルフィリンの層によって生じる一方、様々な色相とオーバートーンは、アラゴナイトと有機物—大半はコンキオリンであるが、ポルフィリンも一部、存在している—が交互に積み重なった層に光が通って反射したことによって生じる。コルテス海産ブラック養殖真珠は、タヒチ産ブラック養殖真珠と比べて、オーバートーンの多様性に富み、アワビ真珠に見られる色に似た色をしていることもある。

レインボー マベガイ養殖真珠に存在するポルフィリ

ンは、長波紫外線を照射したときにはっきり見えるレッドの蛍光をもたらすが、このような強いレッドの蛍光はタヒチ産養殖真珠では見られない。紫外線・可視光線スペクトルにも相違点があり、タヒチ産養殖真珠では700nmに強い吸収特徴が出現するが、メキシコ産養殖真珠では見られない。コンキオリンおよびポルフィリンの存在については、ラマン分光法で検知することができ、1100cm⁻¹から1800cm⁻¹までの間に吸収帯が出現する。これらの吸収帯とレッドの蛍光は、人工着色が施された養殖真珠のスペクトルには見られないことから、天然色であることを示す指標になる。



REFERENCES

- Alvarez-Borrego S. (1983) Gulf of California. In B.H. Ketchum, Ed., *Estuaries and Enclosed Seas*, Elsevier Science, Amsterdam, pp. 427-449.
- Britton G. (1983) *The Biochemistry of Natural Pigments*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cáceres-Martínez C., Chávez-Villalba J. (1997) The beginnings of pearl oyster culture in Baja California Sur, Mexico. *World Aquaculture*, Vol. 28, No. 4, pp. 33-38.
- Cariño M., Monteforte M. (1995) History of pearling in La Paz Bay, South Baja California. *Gems & Gemology*, Vol. 31, No. 2, pp. 88-105.
- Comfort A. (1949) Acid-soluble pigments of shells. I. The distribution of porphyrin fluorescence in molluscan shells. *Biochemical Journal*, Vol. 44, pp. 111-117.
- Crowningshield R. (1991) Gem Trade Lab Notes: Pearls from Baja California. *Gems & Gemology*, Vol. 27, No. 1, p. 42.
- Elen S. (2001) Spectral reflectance and fluorescence characteristics of natural-color and heat-treated "golden" South Sea cultured pearls. *Gems & Gemology*, Vol. 37, No. 2, pp. 114-123.
- Elen S. (2002) Identification of yellow cultured pearls from the black-lipped oyster *Pinctada margaritifera*. *Gems & Gemology*, Vol. 38, No. 1, pp. 66-72.
- Fritsch E., Rossman G.R. (1988) An update on color in Gems. Part 3: Colors caused by band gaps and physical phenomena. *Gems & Gemology*, Vol. 24, No. 2, pp. 81-102.
- Gauthier J.P., Ajaques J.M. (1989) La perle au microscope électronique. *Revue de Gemmologie a.f.g.*, No. 99, pp. 12-17.
- George C. D. (1971) The black pearls. History and development. *Lapidary Journal*, Vol. 25, No. 1, pp. 136-147.
- Goebel M., Dirlam D.M. (1989) Polynesian black pearls. *Gems & Gemology*, Vol. 25, No. 3, pp. 130-148.
- Guilbault G.G. (1990) *Practical Fluorescence*, 2nd ed. Marcel Dekker, New York.
- Gutmannsbauer W., Hänni H.A. (1994) Structural and chemical investigations on shells and pearls of nacre forming salt- and fresh-water bivalve molluscs. *Journal of Gemmology*, Vol. 24, No. 4, pp. 241-252.
- Hänni H.A. (1995) A short synopsis of pearls: Natural, cultured, imitation. *Journal of the Gemmological Association of Hong Kong*, Vol. 18, pp. 43-46.
- Hänni H.A. (1997) Über die Bildung von Perlmutter und Perlen. *Gemmologie: Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft*, Vol. 46, No. 4, pp. 183-196.
- Hänni H.A. (2002) *Pearls*. SSEF Tutorial 1, Modern Gemmology.