

特別寄稿

潜水船「ベン・フランクリン」漂流記

— BEN FRANKLIN(PX-15) —

海のサイエンスライター 山田 海人

今から40年ほど前の1969年は、アポロ11号の月面着陸ミッションと潜水船「ベン・フランクリン」によるメキシコ湾流漂流ミッションが行われ、宇宙とインナースペース（海中）での冒険が同時に行われた画期的な年でした。しかし、メキシコ湾流漂流調査は一般には知られることはありませんでした。今回は、この「ベン・フランクリン」のメキシコ湾流漂流調査、32日間の連続潜航、内部波の影響、メカジキの襲撃などを詳しく紹介したいと思います。

1. 潜水調査船「ベン・フランクリン」

スイスの科学者ジャック・ピカルは1963年に自ら設計した「トリエステ」で世界最深部のマリアナ海溝水深10,911mへの潜航を成功させました。その成果をもとにジャック・ピカルは中層の海中を長期間潜航できる潜水調査船の開発に取り組みました。具体的には水深900mまでの中層を漂流して6名の乗員が6週間連続して潜航できる「ベン・フランクリン(PX-15)」を設計したのです。

このデザインに注目したのはNASAでした。有人宇宙の技術として長い期間狭い空間の中でストレスに耐えて運航を続ける乗り物を実証する必要があったからです。一方グラマン社は月着陸船の開発を担当していてNASAとともに狭い空間でのライフサポートなど潜水調査船からのノウハウに興味を持っていました。

こうしてNASAとグラマン社は「ベン・フランクリン(PX-15)」の開発に資金提供してプロジェクトが進められました。船名はメキシコ湾流の調査を目的とすることから1770年にメキシコ湾流を発見したベンジャミン・フランクリンに敬意を表して、その名を冠した「ベン・フランクリン」と決められました。建造されたベン・フランクリンの内部はアポロ宇宙船と似ているのが特徴です。

「ベン・フランクリン(PX-15)」の基本仕様

全長	14m	高さ	6m
幅	6m	重量	130トン

最高潜航深度	600m	乗員数	6人
圧壊深度	1200m	速度（最高）	4ノット
ライフサポート 6人6週間		ペイロード	5トン
トータルパワー	756kwh	覗き窓	29個

2. メキシコ湾流の潜航調査

潜航調査のクルーメンバーは6名で、ピカルとNASAのフォン・ブラウンが人選にあたりました。6名はリーダーのジャック・ピカルと船長はベン・フランクリンの建造にあたったグラマン社の Don Kazimir、操縦士はスイス人の Erwin Aebersold、アメリカ海軍の Oceanographic Office からは Frank Busby、イギリス海軍からは海中音響の専門家 Ken Haigh、NASAの科学者で閉鎖環境の専門家 Chet May でした。



写真 1—ベン・フランクリン乗員

(出典:「The Ben Franklin」)

支援母船は「PRIVATEER」、交通艇は「DRAGONLADY」で潜航調査は始められました。

この潜航はアポロ計画とリンクしていたので潜航を開始したのはアポロ11号の打ち上げ2日前の1969年7月14日午後8時56分でした。場所はメキシコ湾流の流れるフロリダ・パームビーチ沖です。

今回の潜航調査は日本で言えば黒潮に匹敵するメキシコ湾流の秘密を解き明かす調査ですから水深180mから600mのメキシコ湾流の中層を維持しながら潜航し、海洋科学の調査研究を行うとともに、「ベン・フランクリン」の閉鎖された狭い空間での長い航海からクルーのストレスやライフサポートの貴重なデータを得ることです。そして最終到着地はここから1500マイル北上したノバスコシアのヤーマスです。



図 1—ベン・フランクリン内部図 (出典: 「The Ben Franklin」)

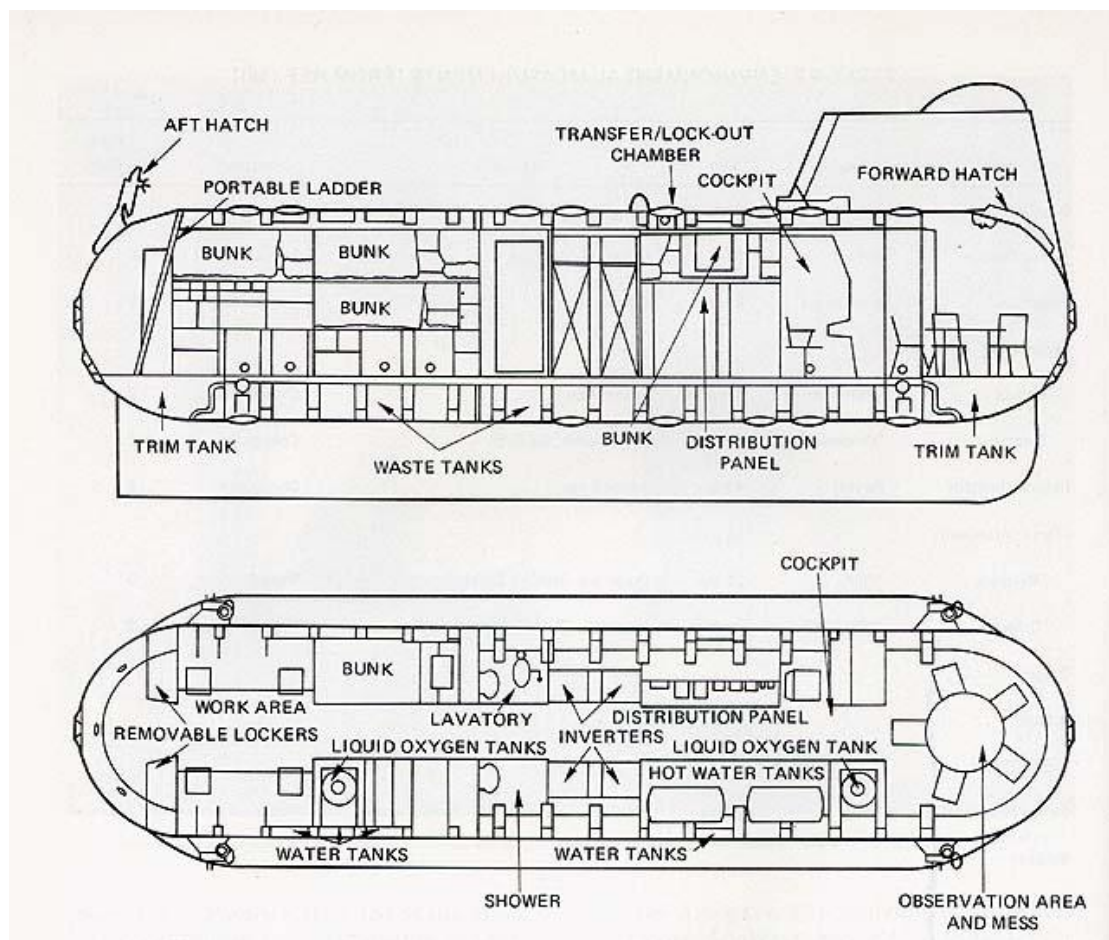


図 2—ベン・フランクリン構造図 (出典: 「The Ben Franklin」)

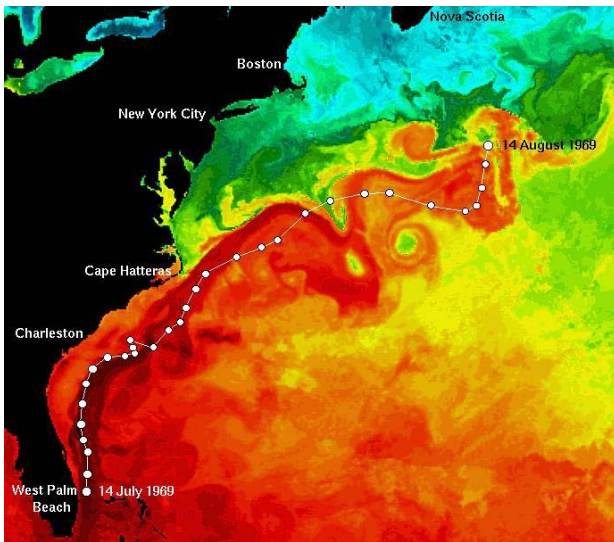


図 3—メキシコ湾流れに沿った航跡図
(出典: 「The Ben Franklin」)

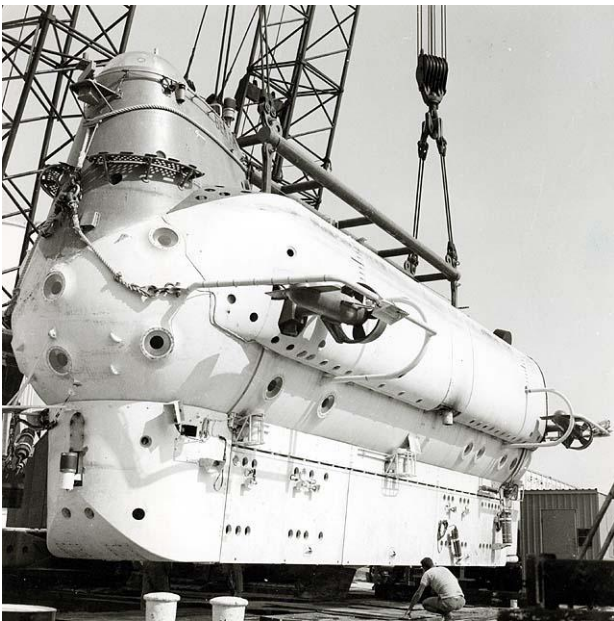


写真 2—揚収されたベン・フランクリン
(出典: 「The Ben Franklin」)



写真 3—母船に曳航されるベン・フランクリン
(出典: 「The Ben Franklin」)

7月14日の潜航開始の日は炭酸ガス吸収パネルを16時35分からスタートさせ、潜航の準備が整って20時30分にハッチを閉鎖しました。そして20時56分ベント弁を開放してバラストタンクに海水を入れ潜航を開始したのです。21時50分には水深510mに着いてサイドスキャンソナー、高度計、前方障害物ソナーなどの航海関係装置の確認を行いました。潜航をはじめて2日間は6人ともそれぞれの担当装置の運用で仮眠もとることができないほど忙しいスケジュールでした。



写真 4—ベン・フランクリンのコックピット
(出典: 「The Ben Franklin」)

この潜航調査は一般の潜水調査船と異なって漂流ですのでも静かな航海となりました。3日目16日には「ベン・フランクリン」からアポロ11号の打ち上げ成功のメッセージをアポロ11号へ送りました。この日はピカール、メイ、カジミールの3名が軽い風邪をひき心配が高まりました。しかし大事に至らず風邪は回復しました。19日は太陽光を調べるために照明をすべて消してみましたが水深187mで大きな活字が読める程度の明るさでした。20日は船内でアポロ11号の月面着陸の成功を祝いました。漂流をはじめてそれぞれの作業スケジュールも固まってきました。まずすべき重要なことは、支援母船「PRIVATEER」との交信(時々交信が途絶えることもありましたが。)です。



写真 5—母船との交信（出典：「The Ben Franklin」）

船内では食事で出たゴミ、洗濯もの（下着などは3日交代）尿などはカプセル（SAS ball）に入れて船外放出し、母船が回収しています。船内への浸水、水滴の有無のチェックは大事な日課です。初日には圧力計バルブからの水滴漏れが見つかりましたが、増締めすることで止まりました。



写真 6—船内での食事風景左から二人目
ジャック・ピカール （出典：「The Ben Franklin」）

中層を漂うと言う中性浮力の調整は当初水深によって船体の圧縮があつてなかなか調整がうまくいきませんでした。水深300mでうまくとどまれたのは2日目からでした。その後は可変バラストタンクによって100m～500mの間を行き来できるように中性浮

力の調節がうまくできるようになりました。

海流による移動速度では、最初は底層流で移動していましたが移動速度が遅いことから中層へ移動して流速の早い海流へ乗って移動しました。他には水深200mで漂流中に近くを潜航中のディーゼル潜水艦LAPONと交信を交わしたこともありましたが、潜水調査船と米海軍潜水艦との交信は長い潜航時間ならではの出来事です。

3. 内部波の中での潜航

メキシコ湾流での漂流調査での特徴は内部波の影響です。内部波は水深100mから数百メートルの間で表層の水温と深海の低い水温との境界面が長い周期で上下動することです。栄養塩が多いことから生物相が多く生物観察の楽しみもありましたが内部波には随分気を使ったようです。

メキシコ湾流はアメリカ東海岸の海底地形によって内部波が起きやすい環境とされています。これまで1963年4月10日に原子力潜水艦「スレッシャー」が試験航海中に内部波に引き込まれて水深650mで船体が圧壊したとされています。

今回は海流の中での漂流調査ですから海中の中で流れと内部波にとっても影響を受けました。静かに中層での航海を続けていると内部波は大きなうねりとなってベン・フランクリンを襲ってくるのです。航海日誌にはたびたび内部波の記載があります。例えば7月23日にチャールストン沖の水深200mを漂流していると10時ごろから内部波が大きくなり15分の周期で40mの上下動がありました。

7月28日は内部波がなく安定していました。8月4日は内部波の動きによってプランクトンを面白く見せてくれました。8月6日は相変わらず内部波が継続して暴れていました。またある時は水深500mで流れていると内部波で押し上げられて水深300mあたりまで上昇することがありました。今回のように中層での漂流航海では内部波の影響で、同じ水深に留まっていることの難しさがわかりました。こうして貴重な内部波での運用データが得られたのです。

4. メカジキからの攻撃

この航海で事故らしきものと言えば7月18日のメカジキ2匹による襲撃です。メカジキはカジキマグロの中でも最大級のカジキでこれまでの最大は体重

650kg 体長 4.5m もの大きなものです。朝 6 時水深 2 4 5 m で漂流中に後部観察室の周りにメカジキ 2 匹が近づいて覗き窓を狙って攻撃してきました。

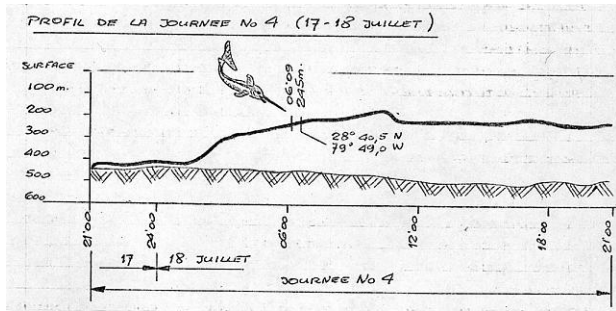


図 4—メカジキに襲われた日の航海日誌

(出典: 「The Ben Franklin」)

今回は事なきを得ましたが攻撃的な性格で知られるメカジキは水中で明るい光や騒音を放つ人工物が嫌いなようで幾つかの被害報告があります。有名なアルビンでの例を見てみましょう。

1967年7月6日のアルビンの202潜航で水深600mを潜航中に襲われ、危うくのぞき窓の脇の亚克力プレートに刺さり、電気系統のジャンクション・ボックスを壊されています。この日の調査はフロリダの東側の海域で地球物理学・地質学の調査でした。アルビンは午後2時30分に水深600mの海底に到着し、海底を撮影しながらゆっくり移動していました。すると船内に異常な音を感じました。船体をこするような音、何か引っかかったのかと右舷の窓を見た副操縦士は“魚にやられた！”と後ずさりしながら叫びました。窓を見ると大型の魚の身体がすぐ近くに見えていました。何かに挟まっているのか懸命に逃げようともがいていて、下半身からは少量の血液が流れ出ていました。パイロットは母船ルルに状況を伝えて内部の異状の有無を点検しました。その間に覗き窓の観察から窓のすぐ下の部分のFRP製の外皮の隙間にメカジキの吻が刺さって抜けなくなってもがいていたのです。内部点検で電気系統に小さな異常が見つかりました。母船との通信で直ちに浮上することが決まりました。浮上中に映像など確認しましたが着底して舞い上がった泥の中にメカジキらしき姿がありました。

映像からするとメカジキは泥を舞い上げているアルビンを生き物と思ってちゅうちょなく攻撃してきたようです。海底からアルビンに向かってきて、アルビンの上で一旦止まってから覗き窓を狙って突っ込んできました。あいにく覗き窓は下方を向いているのでメカ

ジキの吻は窓をはずれてアクリルの外皮に刺さったようです。



写真 7—メカジキの攻撃を受けたアルビン

(出典: WHOI)

浮上して海面での揚収はより安全を考慮して、スィーマーによる追加の揚収索が取り付けられました。そして支援母船である双胴船のルルに引き上げられました。この時もメカジキは海面で激しく暴れていました。アルビンに突き刺さっていたのは重さ90kg、長さ2.4mの小さなメカジキでした。このメカジキは翌日の支援母船「ルル」の夕食に100ポンドのステーキとして食卓を飾っていました。

他にも1994年2月ブラジル沖のパイプラインをメンテナンス中の潜水船が水深240mでメカジキに襲われています。潜水船以外でも被害例があり、2005年10月3日には水深150mの石油掘削孔付近をメカジキが時速80キロで突進し、吻を左右に振り回して攻撃してきました。2008年にはオーストラリアのDavid Attonboroughs 沖の石油生産井のBOPにメカジキが突っ込み、吻でケーブル類を傷つけました、この弱ったメカジキはROVで引き離すことに成功しています。このようにカジキ類では最大のメカジキの攻撃力は今後も潜水調査船の運航を狙っています。それには覗き窓の十分な強度が必要です。

5. 潜航調査の成果

潜水調査船「ベン・フランクリン」は32日間もの長期に亘りメキシコ湾流の流れに乗った潜航調査を無事終えることができました。潜航調査は主に水深200mあたりの中層を漂流航海していましたが何回か海底に着底し、最高水深は565mに達しました。こうして「ベン・フランクリン」の性能と安全な運航に係る重要なデータを得ることができました。今回の調査で

これまでどんな潜水調査船が成し得なかった多くの困難に挑戦し、メキシコ湾流の物理学的構造の重要な観測調査を行ったのです。

潜水調査船の内部環境のコントロールは多くの時間が費やされ、特に温度は周囲の水温に影響され最初は 19℃と快適な温度でしたが 13℃を下回ることもたびたびありました。湿度は除湿剤のシリカゲルが大量に使用されていましたが、72~100%と高い状態が続きました。二酸化炭素の除去には潜水艦でも使われている水酸化リチウムを使い、12パネルが用意されましたが1パネルを3日間使用して問題はありませんでした。船内の二酸化炭素の計測ではD社の計測器が壊れ、F社に切り替えられました

一酸化炭素は潜航1週間目で10ppmであったものが2週間後には20ppmになり、3週間後には30ppm、最終的には40ppmまで上昇していました。ポッカライトなどの吸収剤が使われていたようですが高い値には問題が残りました。また、定期的に船内空気のバクテリア汚染の調査も行われました。

メキシコ湾流の中層を潜航し続けたことで内部波が発生する環境での貴重な潜航データが得られました。また、メキシコ湾流の中層からの観測データは今後の海洋および気候研究に役立つ貴重なデータでした。海底地形の影響でしばしば流れが速くなり緊急の操船が必要になったこともありました。覗き窓から見られる多くの深海生物達はクルーの心をいやしてくれました。照明の灯りに引き付けられたプランクトン、それを食べにくるエビ、イカ、小魚、クラゲ、サメなどがいつまでもショーを演じてくれました。

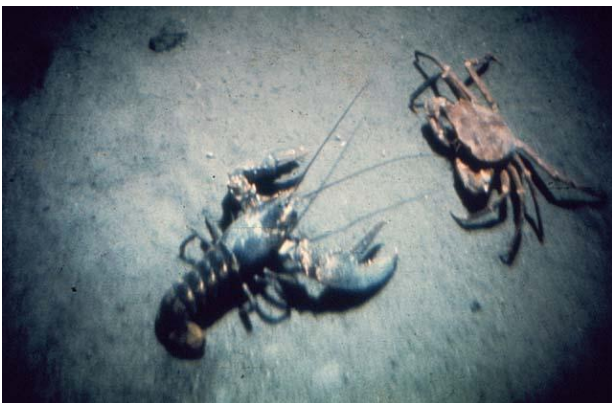


写真 8—海底写真（ロブスターとカニ）

（出典：「The Ben Franklin」）

7月26日には多くのサメとカマスの群れ、8月5日には大きなマグロの群れ、8月6日には多くのクジラ

とイルカに囲われました。8月7日はクジラと遭遇しました。プランクトンの多いDSLでは長い時間視界が妨げられたり、突然見られなくなったり貴重な観察ができました。取り付けられたハイドロフォンからはイルカやクジラの声が収録されました。先に記載したメカジキの攻撃には緊張が走りましたが、深海の生き物たちとは安全に接することができました。

今回の航海ではサイエンスチャンネルの番組制作も行われて、海洋科学教育の向上に貢献しました。



写真 9—長い潜航を終えたベン・フランクリン

（出典：「The Ben Franklin」）



写真 10—ポートランドへ無事入港したベン・フランクリン

（出典：「The Ben Franklin」）

6. その後のベン・フランクリン

こうしてNASAのプロジェクトとして行われたベン・フランクリンの深海での長期潜航は、NASAのそれ以降の有人宇宙に大きく貢献し、有人火星探査計画の可能性まで広げることができました。

ベン・フランクリンはこの潜航調査の後、さらに若干の潜航を行い、1970年にはサンゴ礁に座礁して船体をひどく破損し、廃船となりました。深海調査の分野での深海から潜水艦の回収やタイタニックの発見があって、潜水船の深海長期滞在は原子力潜水調査船NR-1のみにとどまってしまいました。

有名なロバート・バラードもクルーとして乗船することがあります。ロバート・バラードは原子力潜水調査船NR-1にも乗船していますがコメントではベン・フランクリンのベッドについて述べています。深海調査で深海の中で眠りに付くことはとても意義あることです、潜水調査船のベッドの中ではベン・フランクリンが一番ゆったりとしていて快適な眠りができ、レベルの高い調査ができたと評価しています。



写真 11—評判の良い船内のベッド
(出典:「The Ben Franklin」)

廃船になった後、ベン・フランクリンはカナダの実業家、ジョン・ホートン氏が手に入れました。欧米ではこのように輝かしい実績のある実機をととても大切にする文化があって実機の保存のためには経費を惜しまないのです。そして30年後にホートン氏はカナダ・バンクーバー海洋博物館に寄贈しました。

これを機に館長ジェームズ・デルガドはベン・フランクリンをリニューアルするため、積極的に募金活動を始めました。NASAやグラマン社をはじめ、ピカールなどスイスの関係者、元クルーなどに声をかけたのです。関係者はアポロ11号の影に隠れてしまった

ベン・フランクリンの活躍を評価して機材と資金を提供し2002年に復元したのです。その中には中性浮力での潜航調査に大事な役割を果たした計量秤も含まれていました。ベン・フランクリンの船内に持ち込まれたすべての機材はこの秤で計られてから乗せられたのです。

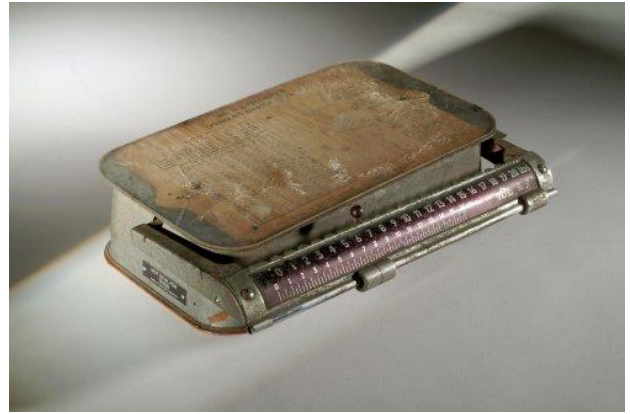


写真 12—中性浮力の潜航調査を成功させた正確な秤
(出展: バンクーバー海洋博物館)

今では2003年9月からリニューアル展示されて、専門のガイドが豊富な資料をもとに入館者や学校へ向いて有意義だったベン・フランクリンの漂流記を紹介しています。

参考: The Ben Franklin - Grumman/Piccard PX-15
http://seawifs.gsfc.nasa.gov/FRANKLIN/HTML/ben_franklin.html

Ben Franklin Captain's Log Ben Franklin Gulf Stream Drift Mission Report
http://seawifs.gsfc.nasa.gov/FRANKLIN/HTML/franklin_captains_log.html

潜水船開発の変遷

<http://chikyu-to-umi.com/kaito/submersible.html>