

ブラジルにおける海洋油田開発技術に関する 研究動向の調査

正員 浅沼貴之*

1. はじめに

日本船舶海洋工学会の若手研究者・技術者活性化事業に係わる海外派遣制度により、2005年12月3日から12月17日までの間、ブラジルにおける海洋油田開発技術に関する研究動向の調査を行ったので、ここに報告する。

ブラジルは大水深ほど石油埋蔵量が多いという地質的な特徴から、国営石油公社 Petrobras が積極的に大水深用の技術開発を行ってきた。その代表的なものが Procap であり、1992年に開始された Procap 2000 は、水深 2000 m の油田を開発する為の様々な技術を、2000年までに開発するというプログラムであった。Roncador (Campos Basin の中の一つ) の水深 1853 m にある FPSO と、水深 1877 m の海底仕上げ井は、それぞれ当時の世界最大水深記録であり、Procap2000 の成果として有名である。

著者は大学院生時代にブラジル留学の経験があり(平成15年2月から平成16年7月の期間)、海洋油田開発本場の空気に触れ、開発現場との密接な関係を持つ研究環境で学ぶ機会を持った。多数の計算機を使った数値シミュレーション技術や、その計算結果をアニメーションにするコンピュータグラフィック(CG)技術の高さには驚かされ、一方で、水槽でのモデル試験は、設備的、技術的にまだ発展途上であると感じた。この頃よく耳にしたプロジェクトの中に、MPSO (Mono-column Production, Storage and Offloading System) の開発があった(彼らはブラジルの意味をつけて MONOBR と呼んでいた)。これはモノコラム型の FPSO で、基礎技術は日本で開発(JNOC/MHI)されたものである。当時、著者がこのプロジェクトに直接携わることはなかったが、波浪中応答計算結果の美しいアニメーションや、円滑に実施されていない水槽試験の様子を見る度に、今ブラジルと日本の研究機関が良い関

係を持てば、お互いの研究活動が活性化されるのではないかと強く感じていた。また帰国後、著者は天然ガス FPSO 実用化の為のオフローディング性能評価に関する研究業務に携わる機会があり、石油 FPSO とシャトルタンカーを繋ぐ係船装置や、シャトルタンカーの操船に関する調査を行った。その中で、特に近年の DPS シャトルタンカーに関する研究開発の調査の必要性を感じた。

以上の背景から、MPSO 及び DPS シャトルタンカーに関する研究開発の動向、その他ブラジルで行われている研究開発の調査の為に、本派遣制度によってブラジル・サンパウロ州とりオ州に渡った。

2. サンパウロ大学

サンパウロ大学 (University of Sao Paulo) は略して USP (ウスピ) と呼ばれている。前述の著者の留学を受け入れてくれたのが、この USP の工学部船舶海洋工学科 Prof. Nishimoto であった。Prof. Nishimoto はブラジルの海洋油田開発に携わる非常に有名な先生であり、今回の著者の訪伯でもブラジル側の窓口として各方面に連絡を取って頂いた。彼は日系ブラジル人であり、母国語のように日本語を流暢に話され、日本の文化についても良く理解されている。そういった意味からも、これからのブラジルと日本の研究機関を結ぶ重要人物であると思われる。

2.1 数値水槽センター

Petrobras と USP は密接な関係にあり、Prof. Nishimoto のもとで行われている研究は、Petrobras の研究所 CENPES (センペス) のプロジェクトに関係したものが中心である。その中でも特に力を入れているものが、TPN と呼ばれている計算機センターで行われる数値シミュレーションと CG 化である。TPN は Tanque de Provas Numerico の略で、Numerical Offshore Tank を意味しており、Prof. Nishimoto が責任者を務める数値水槽センターである。この施設

* (独)海上技術安全研究所

は Petrobras の資金援助により 2002 年に設立され、計算機室の空調管理からシステムのバージョンアップ等の維持管理が徹底されている。また計算機は毎年増設され、現在では 120 台にもなる (写真 1)。これらの計算機は、MPI というメモリ分散型の方式で並列に接続され、個々での使用は勿論のこと、並列計算機に対応した計算プログラムであれば 120 台を 1 台の計算機として使用することもできる。Prof. Nishimoto は、日本で開発された粒子法の MPS (Moving Particle Semi-Implicit) 法にも興味を持っており、並列プログラミングされた MPS 法のプログラムを、TPN の 120 台の計算機で計算してみたいという話もしてくれた。

TPN は様々な形で CENPES のプロジェクトと関係している。基本的な仕事としては、CENPES からの依頼を受け、既存のプログラムを用いてプラットフォーム等の動揺計算をすることである。計算プログラムの中には、彼らが独自に開発したものから、他の研究機関から購入してきたものもある。必要とあればコマーシャルソフトをソースごと購入し、TPN にインストールして使用するというのが彼らのやり方である。代表的なものには、MIT 開発の流体力計算ツール WAMIT がある。TPN には WAMIT がインストールされており、並列計算も可能な状態になっている。CENPES が新型のプラットフォームを開発する際は、この TPN で基本的な動揺性能のチェックが行われる。また、CENPES の依頼により TPN で新しい計算プログラムを作る場合もある。CENPES には USP の TPN と全く同様の設備があり、USP のプログラム開発者は TPN で動作確認をした後に、CENPES にプログラムを納める。同じハードとソフトを使用している為、開発や納品の際、非常に効率が良いことは容易に想像できる。更に Petrobras は、USP をはじめとする共同研究機関と共に、PC 上で動くプラットフォームの動揺計算ソフト DYNASIM を開発している。これは TPN で使用されている数値シミュレーションプログラムの簡易版である。彼らは PC 上で基本的な計算チェックを行った後に、TPN で大掛かりな計算を行い、結果を即 CG 化し、プレゼンテーション用の動画ファイルを用意する。大学のひとつの学科レベルで、これらのことが行えるというのは羨ましい限りである。

今後も TPN の計算機を増やす予定であり、船舶海洋工学科の施設としている現在の体制から、学科や専門を問わず学生が自由に利用できる「海洋油田

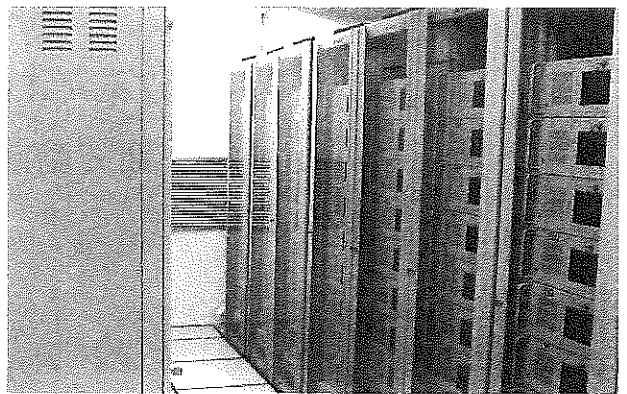


写真 1 TPN

開発に関する数値シミュレーションと Visualization の為の Laboratory」として、近い将来、学部の施設となる予定である。著者は帰国後に、学生時代の恩師と話す機会があったのだが、恩師もこの TPN に興味を持っており、自分の大学にも同様のものが欲しいと漏らしていた。

2.2 DP アルゴリズム

ブラジルでは、まだ DPS シャトルタンカーの実績は無いとのことであった。過去に実海域での試験が数度行われているとのことだが、詳しい情報は得られなかった。しかし、USP には Prof. Nishimoto のもとで開発された DP アルゴリズムがあり、幸いにも実際に開発を行った博士研究員 Dr. Tannuri に話を聞くことができた。アルゴリズムの詳細は既に国際学会 (OMAE や ISOPE) で発表されているのでここでは述べないが、基本的な水槽試験により、このアルゴリズムの検証は既に終わっているとのことだった。その試験の公開を近日予定しているとの言い、無理を言って著者の滞在中に実施してくれないかと頼みこんだ。彼は快く引き受けてくれ、著者だけの為には試験を見せてくれた。その様子を写真 2 に示す。15 m×5 m 程度の水槽に模型船を浮かべ、流れを与えたり棒で押すことによって模型船を動かし、開発した DP アルゴリズムでスムーズに初期座標に戻るかを検証するという試験だった。最終的には複合環境外力下 (風、波、潮流) での総合模型試験を行い、このアルゴリズムの検証をしたいと話していた。Dr. Tannuri と Dr. Fucatu は、現在 Prof. Nishimoto のもとで博士研究員として働いているが、将来共同で企業を起こすことを夢みており、そのときにはこの DP アルゴリズムを Petrobras に売りたい、最新のアルゴリズムはまだ論文にしていないのだと嬉しそうに話していた。

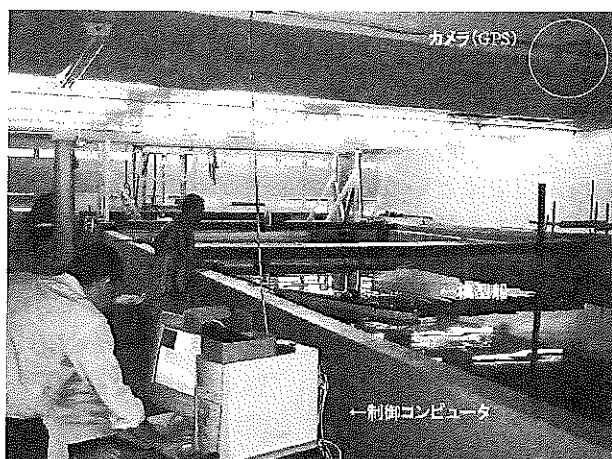


写真2 DPアルゴリズムの検証試験
(左手前は Dr. Tannuri, 奥が Dr. Fucatu)

3. カンピーナス大学

カンピーナス大学 (University of Campinas) は略して UNICAMP (ユニカンピ) と呼ばれている。UNICAMP は USP と並ぶ名門大学であり、やはり同様に CENPES と共同研究を行っている。Prof. Morooka のもとでは、深海技術、特に Riser に関する研究が行われている。CENPES からの依頼で、大水深対応 Riser の挙動計算を実施しているが、その際には CENPES から提供される実海域潮流 DB と Riser の挙動計算ツール ANFLEX を使用している。当然、この潮流 DB の詳細は見せてもらえなかったが、学生達が当たり前のようにこの貴重な DB を使って計算していることには驚いた。

学部生はこの CENPES のプロジェクトの一部を担当し、計算方法や計算結果をまとめて卒業レポートを作成するそうである。Prof. Morooka は日本の研究機関の水槽試験技術に興味を持っており、まずは日本の大学と Riser に関する基本的な研究を共同で行いたい、その上で NMRI 等の研究機関と大水深対応 Riser の研究を共同で行いたいと話していた。

4. Petrobras/CENPES

CENPES は CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO の略で、RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER の意味である。CENPES で、Dr. Masetti に MPSO の情報、Mr. Paulo Sergio には大水深対応 Riser の情報について貴重な話を伺った。

4.1 MPSO

CENPES は USP と共同で、貯油機能と優れた動揺性能を有するモノコラム型 FPSO (MPSO) の

研究開発を行っている。数値計算及び水槽試験により、動揺性能が船型よりも優れていることを確認し、Campos Basin 及び GoM (Gulf of Mexico) への投入を検討しているが、Campos Basin は比較的穏やかな海気象の為、新型プラットフォームの投入の必要性が低く、GoM での実現の可能性が高いとのことであった。著者が CENPES を訪問したとき、Dr. Masetti は GoM の中のどの油田に投入したら良いかと悩んでいた。しかし最近になって、Campos Basin での投入の話も出てきている。先にも述べたが、この MPSO の基本技術は日本が開発したものである。Dr. Masetti は、オフローディングを想定した MPSO とシャトルタンカーに作用する流体力計測試験、更に複合環境外力下での総合模型試験を早急に行いたいと話していた。

4.2 Riser

Petrobras はブラジル沖で潮流の観測(流速・流向、鉛直分布)を行い、実海域の潮流 DB を蓄積しているそうである。また Petrobras の Dr. Ferrari が開発した Riser の挙動解析ソフト ANFLEX を用いて、様々なタイプの大水深対応(水深 2000~3000 m) Riser の研究開発を行っている。Mr. Paulo Sergio は、NMRI の深海水槽をはじめとする日本の水槽試験の設備に強い関心を持っており、今後も積極的に共同研究を行いたいと話していた。彼の所属する深海グループでは、特に SSHR (Self Standing Hybrid Riser) の研究開発に力を入れているとのことだった。彼のグループは、先に述べた UNICAMP の Prof. Morooka と共同研究を行っており、月に一度は UNICAMP に赴き学生の進捗をチェックしているそうである。非常に研究熱心な学生達で頑張ってくれていると話していたことから、CENPES と UNICAMP の良好な信頼関係がうかがえた。更に Mr. Paulo Sergio は、メタンハイドレートの開発にも興味を持っており、JOGMEC の資源開発研究に感心を寄せていた。

5. Petrobras/MACAE

リオデジャネイロの北方約 200 km に、マカエという町がある。ここに Campos Basin を支える陸上基地、Petrobras/MACAE がある。CENPES では入手できない現場側の情報や、現場の技術者の本音を聞いてみたいと考え、この MACAE を訪問した。

Campos Basin では、現在、水深 1000 m 前後の海域での生産が盛んに行われているとのことであった。また、2006 年中に国内生産のみで(輸入を止

める), ブラジル全体の石油を賄えるようにする計画であると伺った。MACAE の Subsea 技術者の一人である Mr. Cavati は, ブラジルの石油供給を支えているのが Campos Basin であり, それをコントロールしているのが MACAE で働く自分達である, 日本にも Petrobras で生産した石油を輸出するから高く買って欲しい, と冗談半分, 自信半分の顔で語った。彼らはまさに開発現場を支えるスタッフであり, 実現していない新しい研究開発にはあまり興味は無く, 今日, 目の前で起きているトラブルにどう対応するかが重要であるといった様子であった。事実, 訪問した日に, Campos Basin のどこかの現場でトラブルがあった様子で, 著者の対応予定者の Mr. Paulo Cesar が捕まらず, 更には総合受付の女性スタッフは全員英語を話せなかった為に, 彼のオフィスに辿り着くまでにひどく苦勞した。残念ながら Mr. Paulo Cesar からゆっくり話を聞くことは出来なかったが, その代わり Mr. Cavati ら若手技術者の話を聞くことができた。驚いたことに, 彼らは日本のメガフロートの研究開発に興味を持っていた。中には関西空港がメガフロートでできていると勘違いしているものもいた。やはり現場サイドでも関心ある研究テーマは「揺れないプラットフォーム」であり, メガフロートの応答特性に関して熱心に質問をしてきた。著者は, 修士論文でメガフロートの波浪中応答に関する計算方法をまとめていたこともあり, それなりのディスカッションはできたが, もう少し彼らに紹介するプレゼンテーションの材料を用意して行けば良かったと後悔した。

6. おわりに

先にも述べたが, Petrobras では 2006 年中に自国での生産のみで石油を賄う計画を進めている。しかし, 水深 3000 m 以深には大きな油田は存在しないと考えられており, 海洋油田開発に関する研究テーマは今後減ると言われている。一方で, 近年ブ

ラジル通貨 Real の通貨価値が上がり, 諸外国の研究機関で開発したものが本当に良いものであるならば, 購入することが可能になったという。つまり, 日本を含む諸外国と共同研究を行うには今が一番良い時期であるというのだ。

ブラジルの研究者は, 自分達の数値計算技術には自信を持っている様子である。これまで彼らは, 水槽試験をヨーロッパの研究所に依頼して行っているが, 良くも悪くも契約書通りのことしか対応してくれない, 柔軟性が無い (例えば特異な試験ケースの生データを貰えない) と嘆いていた。その辺りに彼らが日本の研究機関に興味を示す理由がありそうである。また, 最近建設された試験水槽 LABO-CEANO (30 m×40 m×15 m) では, 40 人以上のスタッフで水槽試験を行っており, Petrobras からの援助が無くなれば全く成り立たないと関係者は嘆いている。

以上から著者は, 日本の研究機関はブラジルの研究機関と, まず水槽試験技術に関する交流を行うべきだと感じた。まず彼らの要求を満たす水槽試験を日本で実施する (この時点でヨーロッパの研究所よりも費用が高いと問題だが), 次に将来的にブラジルでも同じ水槽試験の実施が可能となるように, 必要な試験設備の紹介, ある程度までの試験方法・解析技術の指導をアフターサービスとする。ブラジル側にとってこれ以上のサービスは有り得ないだろうし, もしこの時点で彼らが日本製の設備や試験ツールが本当に必要であると判断すれば, 購入することも検討するであろう。またこのような関係を築くことができれば, 日本の研究機関に多くの水槽試験の依頼が来るのではないかと思う。

最後になりますが, このような貴重な機会を与えて頂きました, 日本財団と日本船舶海洋工学会の関係各位に対して厚く御礼を申し上げますとともに, 多忙な中, 著者の調査に協力して頂いたブラジルの関係者の方々に御礼申し上げます。



浅沼 貴之 (あさぬま たかゆき)
(独)海上技術安全研究所
研究員
海洋工学
asanuma@nmri.go.jp

2005 年度若手研究者・技術者海外派遣

派遣者氏名	浅沼 貴之
派遣者所属	独立行政法人海上技術安全研究所 海洋開発研究領域
調査テーマ	MPSO を用いた洋上石油生産技術開発に関する調査
訪問国	ブラジル
派遣期間	2005 年 12 月 4 日～12 月 15 日
紹介者	
1: Prof. Nishimoto	University of Sao Paulo
訪問先面談者 所属	
a: Prof. Nishimoto	University of Sao Paulo (USP)
b: Dr. Masetti	PETROBRAS/CENPES/
c: Prof. Morooka	University of Campinas (UNICAMP)
d: Mr. Paulo Sergio	PETROBRAS/CENPES/
e: Mr. Paulo Cesar	PETROBRAS/MACAE/
調査内容(1)	"MPSO"に関する研究開発について
<p>PETROBRAS は貯油機能と優れた動揺性能を有するモノコラム型 FPSO "MPSO" の研究開発を行っている。数値計算及び水槽試験により、動揺性能が船型よりも優れていることを確認し、CAMPOS BASIN 及び GoM(Gulf of Mexico)への投入を検討している。実現の為には HAZID, HADOP 等による安全性の確認が必要で、その為この研究開発を日本の研究機関等と積極的に行いたいと考えている。</p>	
調査内容(2)	DPS シャトルタンカーに関する研究開発について
<p>ブラジルでは DPS シャトルタンカーの実績は無いが、実海域での試験が数回行われている。ブラジル国内で開発された DPS アルゴリズムでは、Prof. Nishimoto(USP)が開発したものが有名である。基本的な水槽試験により、このアルゴリズムの検証は既に終え、複合環境下での総合模型試験を行うことにより、このアルゴリズムの詳細な検証を行いたいと考えている。</p>	
調査内容(3)	ライザーに関する研究開発について
<p>PETROBRAS (PB) はブラジル沖で潮流の観測 (流速・流向, 鉛直分布) を行っている。基礎研究を含めて日本の研究機関と共同研究を行いたいと考えている (主に水槽試験を期待されている様子)。PB 開発の計算ツール"ANFLEX"及び実海域潮流 DB を用いて、大水深 (水深 2000～3000m) 対応ライザー (SSHR 等) の研究が盛んに行われている。</p>	
調査内容(4)	CAMPOS BASIN 他, ブラジルの現状
<p>ブラジルでは、現在、水深 5000m 以深には大きな油田が存在しないと考えられていて、水深 1000m 前後の海域での石油生産が行われている。2006 年中に、国内生産のみで (輸入を止める)、ブラジル全体の石油を賅えるようにする計画。</p>	
特記事項	
<p>GoM と CAMPOS BASIN の大水深海域での石油生産開発のために、ブラジルは、MPSO 及び DPS シャトルタンカーを対象として研究開発等を積極的に行っていることが把握出来た。この MPSO の基礎技術は、日本で開発された技術 (JNOC/MHI) でもある。これらの背景からも、ブラジルとの関係を深めることで、様々な面で日本側の活性化も期待出来る。以上から、今回の調査は大きな意味が有り、満足出来る情報が得られたと思う。</p> <p>しかし、PETROBRAS/MACAE では、訪問の直前に生産現場でトラブルがあった為、担当者から多くの</p>	

話を聞けなかった。また近年、PBはセキュリティを強化しており、以前同じ場所に訪問した日本人研究者が見学出来た場所が、今回は見学出来なくなっていた。以上から、現場側の調査に対しては満足出来る結果は得られなかった。