

案件名	二酸化炭素回収・貯蓄 (CCS) にかかる共同研究プロジェクト
派遣専門家	佐藤徹 (※)
所属機関	東京大学 大学院 新領域創成科学研究科・教授
相手国研究機関	リオグランデ・ド・スル ポンチフィカルカトリック大学 二酸化炭素貯留研究センター (Carbon Storage Research Center (CEPAC) Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul)

ブラジル国二酸化炭素回収・貯留 (CCS) に係る共同研究プロジェクト運営指導調査

(平成 23 年 3 月)

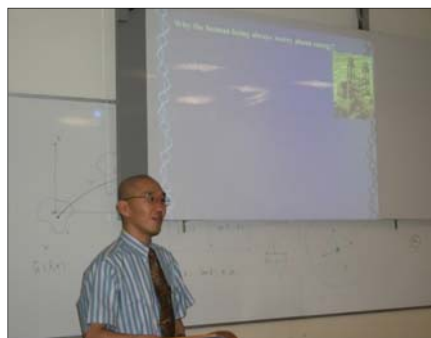
1. 活動内容

(1) 技術指導

- ◇ ポンチフィカルカトリック大学 CCS 研究所 (CEPAC) において、ワークショップを開催し、研究者 4 名および博士課程学生約 5 名に対し以下の講義、当該分野にかかる世界的情勢の情報の提供およびそれらに関連する議論を実施した。
 - Overview of the Nagaoka pilot project – Storing CO₂ in saline aquifer –
 - Mechanisms of migration and trapping of CO₂ in pore scale
 - Ship-based CCS
 - Stances and perception of worldwide organizations on CCS
 - Regulatory framework on CCS
- ◇ サンパウロ大学 (USP) にて、海洋工学および土木工学の学生約 30 名に対し、以下の講義を実施した。
 - Environmental assessment methodology for CCS – Monitoring and modelling –
 - Environmental management of offshore CCS – Development of EIA methodology in Japan –
 - Mechanisms of migration and trapping of CO₂ in pore scale
 - Ship-based CCS
- ◇ ブラジル国営石油会社ペトロbras社中央研究所 (CENPES)
 - 気候変動対策室長および室員計 3 名に対し、CO₂ 海域地中貯留の環境リスク評価手法と社会的受容性の重要性につき講義した。
- ◇ トランスペトロ社
 - 石油の輸送を担当するペトロbrasの子会社であるトランスペトロ社にて、石油・ガス輸送の専門家 2 名に対し、CO₂ 輸送につき技術指導を実施した。



日本側専門家に随行した調査団員 (※)



CENPES で講義



ブラジル側専門家とフィールド調査

◇ 以上より以下のことを達成した。

- ブラジルの専門家が、地中に隔離された CO₂ の MMV の技術が日本において既に確立されていることを理解できた。また、大水深での MMV 技術の適用・確立のためには、研究課題の明確化とともに日本との共同研究

が必要との共通認識が得られた。

- ブラジルにおけるサイト固有の問題点を抽出し、研究課題を明確化した。
- ペトロブラスが今後巨大投資を行おうとしているサントス油田のプレサル層開発において、石油・天然ガスに伴う CO₂ の処理・有効利用が喫緊の重要課題であることが共有され、CO₂ 海上輸送手段が有望な方策であると認識された。
- CEPAC の専門家に、世界の CCS に関する規制枠組みについては理解させることができた。

(2) 相手国が保有する施設・設備の調査

◇ CEPAC

- 陸域地中貯留施設 (Porto Batista パイロットサイト)
 - ECBM (Enhanced Coalbed Methane Recovery) として CO₂ 圧入
 - 深さ 350m の 2 本 (間隔 20m) の井戸 (直径 70,9mm、ケーシング 101.6mm)

◇ サンパウロ大学 (Universidade de São Paulo: USP)

- 海底下 CCS の海域実験に関連して、現地の海洋環境調査能力と共に、以下に説明する現地の計算技術や水槽実験の能力について調査した。
 - 数値水槽: 細分化された造波板を四方に隙間なく配置し、予め計算された挙動をさせることで任意な形状の三次元波を作成できる。日本には海洋技術安全研究所が同様の水槽を保有。
 - 洋上構造物の安全設計には十分な能力と人材、研究設備を有している。
 - クラウドコンピューティング施設: 複数の大学、研究機関の計算機をネットワークでつなぎ、大型計算を分散処理する。



USP 保有機材①



USP 保有機材②



USP 内関連施設

(3) 相手国の研究活動の調査

◇ CENPES

- ペトロブラス社は 2003 年から CCS の研究を実施している。これは気候変動枠組条約会議とは別に、クリーンなイメージを出して、欧米の石油メジャーと肩を並べたいという意識から。
- 陸域では、1987 年から 10 年間、Buracica Fields において、年 13 万トンで CO₂ を EOR (Enhanced Oil Recovery: 石油増進回収) 目的で注入しており、次の Miranda Field Project (2011 年から年 290 万トンの CO₂ を EOR) のための MMV 技術の評価や、貯留層とキャップロックの地質化学的調査、井戸の耐性調査を実施中。
- また Rio Pojuca Field では帯水層貯留を 2007 年から年 4.3 万トン規模で実施中。

◇ CEPAC

- ペトロブラスは、利益の 1% をブラジル国内大学に寄付し、人材育成に貢献する義務がある (ちなみに 2010 年の純利益は 350 億リアル、1 兆 7500 億円、1% でも 175 億円!)。その一環として、ポンチフィカルカトリック大学に CCS 研究センター CEPAC を設置した。

- ▶ CEPAC は総勢 20 名程度の小規模な研究所で、小規模な陸域貯留サイトを所有し、計測とモデル計算を実施している。博士課程の学生やポスドク以外の、実際に独立した研究者は研究所長以下 5 名程度。

(4) 共同研究計画立案の可能性調査

◇ CEPAC

- 今回の日本から提案した共同研究に関する以下の発表を実施したところ、大変関心を示し、ブラジル内での資金獲得や実験サイト選定などで、ペトロブラスに積極的に働きかけることとなった。
- ▶ Draft plan proposed for collaborative research – Sub-seabed storage with large depth –



CEPAC 前で集合写真

◇ CENPES

- Head of Technological Program for Climate Change Mitigation の Dr. Paulo Negrais に対し、CEPAC との共同研究案を説明し、協力を要請した結果、以下、大変興味を示し、本件に関して CEPAC と検討することとなった。
- ▶ これまでペトロブラスが実施してきた EOR や計画中の CCS プロジェクトは全て陸域であり、海底油田からの石油生産時の随伴ガスとして出てくる CO₂ を EOR で注入したい希望があり、海域に興味がある。
- ▶ 具体的には、海中でのパイプの挙動、経済性、CO₂ 流の保証、CO₂ の圧縮とポンプシステム、海底下貯留層のモニタリング技術に興味がある。

2. 所感

- ◇ これまでのブラジル政府の立場 (CCS 反対) から、ブラジルでは CCS の研究はほとんど行われてこなかったと思っていたが、ペトロブラスという国営大企業が、自身の中央研究所 (CENPES) においてフィールド試験を実施していることが判明した。CENPES の研究遂行能力は非常に高いことが推測されるが、所内の CCS 研究組織の全体像は不明。
- ◇ CEPAC の研究遂行能力としては、博士課程の学生やポスドク以外の実際に独立した研究者は研究所長以下 5 名程度で、力不足の感あり。
- ◇ CEPAC の専門家の間では、海底下 CCS の環境影響評価、CO₂ 輸送システム技術等について理解が進んだが、専門が地質学関係に偏っていた。この分野について共同研究を進めるためには、USP や CENPES の海洋環境 (物理、化学、生物) の専門家と協議を進めることが動機や能力 (領域) の点でふさわしい。
- ◇ USP の保有する計算技術・水槽実験の能力を考慮すると共同研究相手としてふさわしいと評価できる。
- ◇ CCS に関する規制枠組みについては法制度を担当するブラジルの政府の関係者に対しても講義を行う必要がある。また、同国内で CCS の法制度を構築することについては、まだ具体的なアイデアが不足していると感じられた。今後は、石油法など CCS に関連するブラジルの国内法の知識を両国の専門家で共有するとともに、ブラジルにおける CCS の規制枠組を構築するための課題と方策について、政府関係者も交えて理解を深めることが重要である。
- ◇ ロンドン条約によって、商業目的で CO₂ を海域に放出することは禁じられており、この点について、日本の海洋汚染防止法の解釈では、実験も禁止であるのに対し、ブラジルはまだ国内法の対応がない。一方で、イギリスでは CO₂ 海域放出実験を実施することを公式に発表しており、その法解釈について確認した上で、ブラジルで放出実験ができるか否か調査する必要がある。
- ◇ ブラジルでは全般的に環境保全の意識がアマゾン流域の生物多様性に向けられているようであり、海底下 CCS や沖合石油開発等に係る海洋環境保全の認識が日本や欧米諸国に比べて発展途上にあると思われた。海底下 CCS に係る環境影響評価技術を進展させるためには、まず現地海洋環境についてベースライン調査が必要であることから、これら知見の現状を調査することから始めなければならない。このためのブラジルの海洋環境の専

門家との協議が望まれる。

- ◇ MMV 技術については、陸域においては日本の技術を参考にブラジル独自でもある程度開発できると思われるが、海域における技術開発はブラジルサイトの利用と日本の技術供与がふさわしいと考えられる。
- ◇ ブラジルにおいて CCS を行う場合、キャップロックが大深度炭酸塩岩となる場合が多い。ブラジルのサイト固有の問題として、大深度での圧力温度状態における炭酸塩岩、坑井構造物、CO₂ の化学反応および水力学的特性に与える影響の解明が必要である。このような課題に対してまさに研究開発に着手し始めたところであり、開発を促進し、高度化するためには日本からの協力が必要である。
- ◇ ブラジルでは、CO₂ 排出量削減を直接的な目的とする CCS は将来課題である一方、資源開発とりわけ沖合大水深のプレサル層の石油・ガス開発での CO₂ 大気放出回避は喫緊の重要課題であり、大規模 CCS の早期適用の実需があると考えられる。一般に海域における産業活動に対する環境影響評価への意識はあまり高くなく、技術・経済性に重点が置かれがちであるが、CCS のプロジェクトを推進するためには、国際的な視線も考慮に入れた総合的な取組が必要であり、要素研究を所掌する組織 (例えば CEPAC や USP) を相手にした指導以上に、政府あるいはペトロブラスの関係先への働きかけが重要である。

3. 今後の予定 (派遣時期と活動計画)

本年 8 月頃を目途に、再度ブラジルを訪問し、ペトロブラスの幹部に対し、CEPAC と協働してワークショップを開催し、日本側が提案する大水深海底下 CCS 実験への出資を促すとともに、CEPAC と共同研究プロジェクトの計画立案を行う。

※ 専門家に随行した調査団員： 尾崎雅彦 東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授
喜田潤 財団法人海洋生物環境研究所・主任研究員 (当時)
末包哲也 徳島大学大学院工学研究科・教授
竹本明生 東京大学サステナビリティ連携機構・特任研究員 (当時)

案件名	二酸化炭素回収・貯蓄 (CCS) にかかる共同研究プロジェクト
派遣専門家	佐藤徹 (※)
所属機関	東京大学 大学院 新領域創成科学研究科・教授
相手国研究機関	リオグランデ・ド・スル ポンチフィカルカトリック大学 二酸化酸素貯留研究センター (Carbon Storage Research Center (CEPAC) Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul)

二酸化炭素回収・貯蓄 (CCS) にかかる共同研究プロジェクト

(平成 23 年 8 月)

1. 活動内容

ポンチフィカルカトリック大学炭素貯留研究センター (CEPAC) において、Prof. Marcelo Ketzer、Dr. Clarissa Melo、Dr. Rodrigo Iglesia らと共同研究内容を検討し、大深度海洋下 CCS に関して日本の先行技術情報を提供するとともに、大深度海洋下 CCS に固有の問題点を抽出し、研究プロジェクト「DECO: Deep-water sub-seabed CO₂ monitoring test and environmental impact assessment (深海底における CO₂ 観測実験および環境影響評価)」の立案を行った (8 月 8 日～10 日)。

◇ 地球温暖化を抑制する技術として二酸化炭素分離回収・地下貯留 (CCS) が注目され、欧米を中心として、大規模導入に向けた研究・開発が進行している。日本および欧米での先行するプロジェクトの経験から、本技術を導入するためには周辺住民及び自治体の技術に対する理解が不可欠であることが判明してきている。これらの理由から、我が国での実用化は、陸域よりも海岸からある程度の距離をおいた海域であることが想定される。よって、数 100 m 以上の深度を有する海洋下の地質構造内部での貯留が有力となる。一方、ブラジル国では、超深海油田「プレサル」での産油活動が活発であり、CCS 技術の導入には、これら超深海域の枯渇油田の利用が有力視される。つまり、日本およびブラジル国において CCS 技術を導入する場合、大深度海洋下地質構造を利用しなければならないという共通の課題が存在する。



関係者と共同研究を立案

- ◇ ブラジルと日本に共通する関心事項は、大水深 (およそ水深 500m 以深) における海底下 CCS であること、海底下 CCS が社会的に受容されるためには国際的に通用する環境影響評価が必要であること、が確認された。
- ◇ 共同研究案は、ブラジル側の唯一無二のスポンサー候補である (旧国営) 石油会社 Petrobras に対するプレゼン資料としてまとめられた。その内容は、深海底のハイドレート安定層の下に CO₂ を注入し、CO₂ が徐々に海底面に向けて上昇してハイドレートとして固定されること、海底からの漏出を確認すること、さらに周辺の生物的、化学的、物理的なバックグラウンド調査法を確立すること、を主たる調査内容としている。ねらいは、大水深の海底下 CCS では、万が一の CO₂ 漏洩の際にも CO₂ がハイドレートとして固定され、浅海における海底下 CCS よりも周辺環境への影響が少ないことを実証し、ブラジルおよび日本における大水深海底下 CCS の社会的な受容性向上の一助とするというものである。

CENPES (Petrobras 中央研究所、CEPAC の強カスポンサー) においてワークショップを開催し、3 名のマネジメント幹部およびロンドン条約会議ブラジル代表らに対して、CEPAC の Prof. Marcelo Ketzer と共に上述のプロジェクト案を説明し、協力を要請した (8 月 11 日)。

CENPES で行った検討を受け、Federal Univ. of Rio de Janeiro の会議室において、CEPAC の Dr. Clarissa Melo、Dr. Rodrigo Iglesia と共に今後のスケジュール案を議論し、ブラジル側および日本側のプロジェクト立上げに向けたマイルストーンの確認を行った (8 月 12 日)。

2. 達成状況 (具体的に解決できた問題点とその結果があればそれを含む)

CEPAC との協議を通じて、大深度海洋下 CCS に関して日本とブラジル国が共有する課題は「CO₂ 漏洩時の海底下堆積層内でのハイドレート形成と CO₂ 移流への影響」と「CO₂ 漏洩を想定した海洋環境影響評価手法の開発」であることが確認された。これらの課題を解決するために必要となる実験室規模での実験、数値シミュレーション、および、現地試験を企画立案した。個々の実験等については、条件・パラメーターの範囲などについて詳細に検討を行い、概念設計を終了した。以上を共同研究提案としてまとめ上げた。

CENPES でのワークショップにおける、これらの共同研究提案への協力要請に関しては、CENPES 自体は大変強い興味を示し、Dr. Pulo Negrais が中心となって CENPES の親会社である Petrobras に予算請求をするという口約束を取り付けた。これらのことから、プロジェクトの実現可能性が高まったと考えられる。

3. 人材育成の観点での活動内容と成果

CENPES におけるワークショップにおいて、CENPES の専門家総勢 10 名程度に対して、今回の共同研究内容のプレゼンを聞かせることで、CCS に関してブラジルと日本に共通する関心事項は、大水深 (およそ水深 500m 以深) における海底下 CCS であること、海底下 CCS が社会的に受容されるためには国際的に通用する環境影響評価が必要であること、およびフィールド実験、モニタリング、モデルシミュレーションのための各種技術につき、概要を理解させることができた。

貯留層やキャップロックを構成する鉱物および CO₂ を注入するための坑井のセメント材料と超臨界 CO₂ の化学反応について予備的な検討を行い、これらの分析を遂行するための技術指導を行った。

- ◇ 日本国内にて、鉱物およびセメントサンプル 5 種を 50 °C、10 MPa の条件にて、21 日間、超臨界 CO₂ と飽和状態にある水に暴露し、空隙スケールの多孔質性状の変化を X 線 CT にて観察した。これらの一連の試験手法について技術指導を行った。
- ◇ また、より詳細に鉱物化学反応を定量化するには、SEM、XRD などを用いることが有効であることを伝えた。CEPAC ではこれらの装置を導入しつつある状況にあるが、まだ十分に使いこなしている状況にあるとはいえ、時節を得た技術指導を行うことができた。

DECO プロジェクトでは、室内実験およびシミュレーションから開始してフィールドでの実証試験に進む計画であり、将来的に、ブラジルの学生や若手研究者が日本における最先端の室内実験手法を学ぶことにより、フィールド実験の促進に寄与すると考えられる。また、日本側の人材もブラジルでのフィールド実験に参加することにより、国際的な協調の基でプロジェクトを進める経験を積むことができる。

4. 指導分野およびその関連分野にかかる受入国、協力先の現状と問題点

CCS を実用化しようとする機運は高まっているように見受けられるが、環境や社会的な合意形成に配慮しようとする意識が比較的希薄であり、重要な課題であるとの認識がまだ低い。日本および欧米では先行するプロジェクトの経験と通じて、これらの問題の重要性が深く認識されており、日本の協力が必要であると考えられる。

海底下 CCS に係る法的整備はまだなされていないようであり、現地の環境関連法で対応されるものと思われる。ロンドン条約等に基づく、日本、EU の対応状況についての理解促進が必要であろう。

深海環境観測技術のレベルが不明であり、これらの基礎調査技術とデータ解析技術の習得が必要である可能性がある。

5. 今後の予定 (派遣時期と活動計画)

ブラジルにおいては、CEPAC と共に、CENPES が親会社である Petrobras の経済的協力を受けられるように継続的に必要情報等を提供していく。

※ 専門家に随行した調査団員： 尾崎雅彦 東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授
喜田潤 財団法人地球環境産業研究機構・主任研究員
末包哲也 徳島大学大学院工学研究科・教授