

## 石油開発環境安全センター部門

## D-1 廃止坑井位置確認等実証調査の成果について

石黒修一

財団法人エンジニアリング振興協会  
石油開発環境安全センター 研究主幹

### 1. 調査目的

我が国の油田地帯には数多くの廃止坑井が放置されている実態が明らかになっている。これらは昭和 24 年 8 月の石油鉱山保安規制が制定される前の坑井であり、中には明治及び大正時代に遡ると思われる坑井も含まれる。

それらの廃止坑井の中には、地表から坑口位置が確認できない坑井が多数あり、その坑井に起因した鉱害問題が発生している地域が存在している。このような鉱害問題を解決するためには、坑井位置を特定し、坑井を封鎖する必要がある。

本調査は平成 15 年度から 3 年間、経済産業省からの委託事業として、既存の地下探査技術を応用し、坑井位置の特定に重点を置き、安価でかつ効果的な坑井位置確認手法を確立することを目的として調査が実施された。

調査を実施するに当たり、平成 15 年度は地下探査技術の提案公募を行い、探査手法が異なる 4 社の提案を採用し、稚内鉱山（北海道稚内市）、内道川鉱山（秋田県岩城町：現由利本荘市）において調査を実施した。平成 16 年度は、鳥海山鉱山（山形県八幡町：現酒田市）及び安田鉱山（仮称）（新潟県柏崎市）において、鳥海山鉱山に対しては地表面からの物理探査により、安田鉱山（仮称）に対しては調査孔を掘削した上で、その調査孔を使用した物理探査により坑口位置の確認調査を実施した。鳥海山鉱山では各探査により、廃止坑井の位置が特定され、これを検証するための坑口確認作業を実施し、元の坑井を確認する成果があった。平成 17 年度は前年度の調査である程度坑口位置が絞り込まれた安田鉱山（仮称）において、検証調査として開削・ボーリング作業を実施し、廃止坑井安田 R-1 号井を確認する成果があった。

### 2. 調査内容

鳥海山鉱山は、山形県と秋田県の県境に位置する鳥海山山麓の山形県側の八幡町に位置し、大正元年頃には地元住民が手掘りにより原油を採取し「草津油」と称し、塗料として販売するなど、古くより原油の利用がなされた地区である。1934 年には油田開発が始まり、最盛期には日産 56kl の産油を記録するほどであったが、その後急激に産油量が衰退していき、1964 年には 30 年間の生産が閉じた。

生産を停止してから、産油会社が解散する 5 年間に、地上設備の解体撤去及び坑井の廃坑措置が講じられるべきであったが、実態は坑井のケーシングを完全に抜管することは困難なため、途中で切断され地中に残存したままの状態になっていると予想される。また抜管後、完全に封鎖がなされているかどうか不明である。このように廃坑措置が不十分であったため、徐々に地中に蓄積された原油が地表部まで達し、複数箇所において湧出しているものと考えられる。

本調査では、当地区の中でも油漏洩が顕著な C-9、C-12、C-14 及び C-14(2)号井を主な調査対象とし、坑井埋設物探査（スウェーデン式サウンディング法）、地中レーダー、金属埋設物探査、電磁探査、比抵抗探査および地震探査による各種調査を実施し、地下に埋没している廃止坑井の位置の特定を行った。

安田鉦山（仮称）は大正 14 年から昭和 5 年(1925~1930 年)わたって、石油会社よって試掘された。掘削井は綱式 1 坑、ロータリー式 6 坑、計 7 坑、そのうち出油坑井は 4 坑で、総産油量は 335kl である。

調査対象坑井の安田 R-1 号井は坑口装置が無く油ガスの湧出箇所に、この地域の現在の鉱業権者である企業が鋼製のセラーを作り、屋根つきの油溜めを設置し管理をしている。

調査は廃止坑井がこのセラー内にあることがほぼ確実なことから、セラー周辺に調査孔（100mm×60m）を 4 孔掘削して、この調査孔を使用した電磁トグラフィー探査、ボアホールレーダー探査、VSP 探査、磁気探査を実施した。

### 3. 調査結果

鳥海山鉦山では各種探査によって廃止坑井位置が特定され、掘削およびボーリング調査により坑井跡が確認された C-14 号井地区についてその概要を述べる。当地区は、地表にコンクリート構造物や基礎また枕木等が残存しており、過去に何らかの作業がなされた形跡が残っている場所である。

この地区では各探査において、最も多くの異常が検出されている。

深度 3 m 以浅の表層域では、地中レーダーや金属埋設物探査によって人工構造物を示唆する異常が検出され、坑井埋設物探査により地中からガスの自噴及び原油の湧出も確認されている。また表層から深度 30m 程にかけては、比抵抗及び電磁法により、低比抵抗部が検出されており、ケーシングパイプまたは石油に付随して産出されるかん水（塩水）の存在を示唆する異常が検出された。さらに、深部域では、地震探査により反射波の乱れが生じる領域が検出され、また電磁探査から石油溜りを示唆する高比抵抗異常が検出された。

これら探査結果の実証を行うため、次に坑口確認作業を実施した。まず、坑井埋設物探査による油湧出箇所、および比抵抗・電磁探査による異常領域を含む 5m×5m の領域を選定し、開削した。その結果、表層に原油を多く含む層、またそれと共に塩分濃度が高い湧水が確認され、その湧水源がコンクリート構造物の中からであることが判明した。そのためコンクリート構造物の上盤を除き内部を調査したところ、中は原油と坑内水で満たされたピットになっており、その中心部には、φ800mm のヒューム管がピット底から深部に向かって設置されていることが確認された。さらに詳細に情報を得るため、ヒューム管内の掘削を行ったところ、表層部では人的に敷き詰められたような玉石や木材などが発見され、その後埋め戻されたようなルーズな砂礫層が現れてきたことから、当地点が廃止坑井跡であると断定した。

安田鉦山（仮称）では、平成 16 年度に実施した複数の物理探査結果でそれぞれに異常域が確認され、その異常域の水平分布を重ね合わせた結果、約 1 m の円内に廃止坑井の坑口が存在する可能性が高いという結論に達し、平成 17 年度はその箇所の開削を実施し、

さらにボーリングで物理探査結果を検証するべく坑口確認作業が実施された。既存鋼製セラー内において、平成 16 年度の結果から集約された円内周辺を 6 m まで開削したが、坑口を推定できるものは確認されなかった。当時の廃坑時に投げ入れた丸太、コンクリート片等を多数回収して、異物がなくなったことを確認して、次のボーリング調査に移るために、口元管として、12 インチ鋼管を円内のもっともガスバブルが多い場所に設置した。次にクレーンリグを搬入・設置して、ボーリング調査を実施したところ、磁気探査で異常値が確認された深度 27m 以深には掘管等の鉄類は確認されなかった。その後木栓を抜いて終わったところで、一時ガスの噴出、及び出水があったが重泥水で抑圧して進んだ直後の 42m より、負荷がなくなり廃止坑井安田 R-1 号井に入ったと確認した。257.6m まで進んだところで金当たりが確認され、廃坑時の坑内図より、12-1/2 インチの残留ケーシングであることが推定された。ここで本作業の目的は達成されたと判断し、坑口確認作業を終了した。

以上のような各種探査及び検証のための坑口確認作業の結果により、各種地下探査技術を応用した廃止坑井の位置特定は可能であることが実証されたと考える。

## D-2 海洋石油開発に係る海洋汚染影響調査

松井隆明

株式会社日本海洋生物研究所 企画開発部 副部長

### 1. はじめに

近年、海洋資源の開発が注目される一方で、開発に伴う資源の暴噴、あるいは海底構造物やパイプラインの敷設及び埋設等が引き起こす海底かく乱といった環境に及ぼす影響も懸念されている。本調査事業では海底からの油流出事故を想定し、不足データの実験的検証を試みながら、海域における油の化学的性状変化を考慮したシミュレーションモデルを構築するとともに、海底かく乱に伴う長期環境影響を評価することを目的として実施した。

### 2. 流出油総合環境影響予測モデルの開発

海洋石油開発に伴う海洋流出油事故によって原油が海水に溶出していく状況や油の成分変化が海洋環境に及ぼす影響を予測するために、既存の「流出油環境影響予測モデル」に化学的物質性状の変化を考慮することで、より汎用性の高い高度化されたモデルの開発を行った。改良もしくは新たに考慮する化学過程としては、蒸発、溶解、エマルジョン形成、光酸化分解とした。

平成 15 年度は、これらの過程をモデル化するために必要な情報収集調査を行った。情報収集調査の結果、いずれの化学過程に対しても十分な知見が蓄積された状況ではないものの、モデル化に向けて有効な手法を整理することができた。

平成 16 年度では、前年度の情報収集に基づき、油成分の蒸発、溶解、エマルジョン化、光酸化分解による油成分の変質過程を新たに取り入れた風化モデルを開発した。これら化学過程は単独でなく、お互いに密接に関係していることを踏まえてモデルを構成した。蒸発および溶解モデルでは、油成分の蒸発・溶解量を定める速度定数、蒸気圧、溶解度が重要なパラメータとなるため、油成分のモル重量と比重が与えられれば、これらパラメータが一意に決まるように整備した。エマルジョン形成モデルでは、エマルジョンが形成されるか否かを判定する評価基準として、砕波による乱流エネルギーを指標の一つとして採用した。エマルジョンの安定性については、風の強度とともに、アスファルテン、レジン、ワックスの含有量によって決まる安定性パラメータを導入し、評価できるようにした。こうした評価によってエマルジョンが形成される条件が揃った場合、含水率やエマルジョンの密度、粘度の時間発展モデルを用いて、エマルジョン性状の経時変化を評価できるようにした。また、エマルジョンの含水量が増加するとともに、油の蒸発が抑制される効果を考慮することで、蒸発過程とエマルジョン形成過程を結合した。

最終年度である平成 17 年度は、前年度までに開発した流出油モデルに、水中での溶解や光酸化分解を評価する機能を組み込んだ。また、検証が十分でないエマルジョン形成の評価モデルを中心に利用可能な実験データの収集と検証シミュレーションを行い、モデルの問題点を明らかにした上で改善のためのモデル改良を進めた。一方、モデルの実用化に向けた取り組みとしては、開発したモデルを多くの油種に適用できるように、公開されて

いる室内実験データを利用してモデルパラメータの整備を行った。

### 3. 原油付着実験

平成 15 年度は、原油に汚染された海底堆積物中の原油各留分や成分の海底における量的な経時変化を確認した。

堆積物中に残存する原油成分を実験的に観察した結果、BTX（ベンゼン、トルエン、キシレン）は約 50 日間の試験期間中に減少傾向が認められ、環境汚染は短期的であると推測された。PAHs（多環芳香族炭化水素類）は長期間残留する可能性が示唆された。深海域では光分解反応が進行せず、低温のため生物分解速度も遅いと想定されるため、浅海域に比べて原油による汚染は長期間存在し続けると考えられた。また、原油成分の分析には多量の試料が必要となり、広範な実験条件の設定を妨げていたが、より少ない試料から原油成分の量を測定する方法として、全有機体炭素（TOC）を測定した結果、原油成分との間に強い相関関係が認められ、TOC 分析が有効であることが判明した。

平成 16 年度は海底堆積物による原油成分の吸着状況を評価するため、①攪拌条件下における海底堆積物への原油付着状況確認実験、②加圧条件下における海底堆積物への原油付着状況、および海水中への溶存状況確認実験、③定期的海水交換条件下における海底堆積物の原油保持能力確認実験を実施した。これら試験の結果、堆積物に付着する原油の量に最も強く影響を及ぼしたのは攪拌強度であり、逆に圧力は影響を及ぼさないことが判明した。さらに、定期的海水交換条件の下、原油を含んだ海底堆積物の経時変化を確認したところ、前年度の密閉条件下よりも堆積物中の原油濃度の減少速度は速く、有孔虫砂よりシルトの方が付着した原油をより長く保持することが明らかとなった。

平成 17 年度は 16 年度の軽質油に対し、重質油を使用し、原油性状の違いが原油付着濃度に与える影響を評価するため、①重質原油を用いた攪拌条件下における海底堆積物への原油付着状況確認試験、②定期的海水交換条件下における海底堆積物中の微量原油濃度の経時変化確認試験、③原油付着状況の顕微鏡観察を実施した。これら試験の結果、重質の原油を用いても昨年度同様攪拌強度が堆積物に付着する原油の量に最も強く影響を及ぼすことが判明した。有孔虫砂においては軽質油の方が重質油より付着しやすく、シルトの場合はそれと逆か等量に近い結果となった。また、有孔虫砂とシルトでは原油の種類に関係なく、シルトの方が原油を長期間保持しやすい傾向が認められた。いずれの実験条件下においても原油は油滴として堆積物中に存在し、油滴の周囲に堆積物が付着した状態、もしくは密集した堆積物の中に閉じこめられた状態で観察された。また、これらの現象を支配する要因は、原油の流動性、堆積物粒子の大きさ、物質間の物理的親和性であると考えられた。

### 4. 攪乱影響調査

海底攪乱実験を実施してから 6 年後までの堆積物性状及び底生生物の分布特性について調査した結果をまとめた。

堆積物性状として、堆積物中の炭酸カルシウム、全珪素、生物起源珪酸塩、有機体炭素、全窒素についての経年的な変化からみると、海底堆積物の化学的性状は既に自然状態へ回復していたものと判断できた。しかし、海底堆積物の物理的性状である含水率についてみ

ると、平成 11 年度の表層付近で認められた除去域と残存域の値の開きは、その後小さくなったものの平成 17 年度まで継続していた。このことから、堆積物表層の除去がもたらした物理的性状の変化は、平成 17 年度においても継続していることが判明した。

また、底生生物の分布特性の調査結果をまとめると、攪乱影響は堆積物成分濃度の変化に由来する短期的環境影響と、物理的堆積物性状の変化に由来する長期的影響に分けることができる。短期的影響は生物学的に見て2年後には回復していた。メイオベントスの出現数の経年変化から、長期的影響については攪乱実験から6年を経過した現在においても継続しており、今後も継続するものと考えられた。

#### 5. 調査結果のまとめ

平成 15 年度から 17 年度の3ヶ年をかけて実施したこれら調査結果をまとめ、流出油総合環境影響予測モデルの開発としては、大深度油田開発を想定した海底の油暴噴事故における環境影響を把握するためのシミュレーションモデルが構築された。またモデルの構築に際し、「油が堆積物中に取り込まれる量や期間がどのような条件の元に変化するものであるか」等の情報は、室内実験を通して確認することができた。さらに、平成 11 年度に金属鉱業事業団（現：石油天然ガス・金属鉱物資源機構）が実施した実験規模の海底攪乱跡を用いて最長6年後の環境変化をモニタリングした結果、海洋資源開発が引き起こす海底攪乱に伴う環境影響を把握することができた。

## D-3 天然ガスパイプラインの維持管理における リスク評価手法適用に関する調査

田中 俊哉

平成17年度天然ガスパイプラインの維持管理における  
リスク評価手法の適用に関する調査委員会委員

(JFEエンジニアリング(株) パイプラインシステム技術部 流送設計室 課長)

### 1. 調査概要

近年、国内では天然ガスパイプラインの建設が盛んに行われている。一方で、建設後、かなりの年月を経た天然ガスパイプラインも増えており、その維持管理も益々重要になってきた。そこで、今後、天然ガスパイプライン事業を実施していく際の一助とすることを目的とし、供用後の天然ガスパイプラインの維持管理に着目した調査・検討を平成16年度～17年度に行った。

本調査は、エンジニアリング振興協会石油開発環境安全センター内に実行組織として「天然ガスパイプラインの維持管理におけるリスク評価手法の適用に関する調査委員会」を設置して実施したものであり、欧米に関する情報収集に関しては、リスク評価分野の専門コンサルタントである英国 ACONA 社の協力を得て実施したものである。

主な調査内容は、以下の4項目であり、特に近年欧米において用いられ始めた「リスク評価手法」の適用について重きを置いた。

- 欧米および我が国におけるパイプラインに関する法規制・技術基準の整理・比較
- 欧米および我が国におけるパイプライン維持管理方法の整理・比較
- リスク評価手法を用いたパイプライン等エネルギー・インフラの維持管理事例調査
- 我が国のパイプライン維持管理への「欧米型リスク評価手法」の適用検討。

本報告では、欧米（英国、ノルウェー、ドイツ、米国、カナダ）5カ国におけるパイプライン維持管理へのリスク評価手法適用状況について整理した後、このような「欧米型リスク評価手法」の国内パイプラインへの適用状況およびその適用性について述べる。

### 2. 欧米におけるパイプライン維持管理へのリスク評価手法の適用状況

欧米（英国、ノルウェー、ドイツ、米国、カナダ）5カ国における、パイプラインの維持管理へのリスク評価手法適用状況について調査を行った。その結果、表-1に示すように欧米の多くの国では、パイプラインの維持管理において、定性的リスク評価手法、半定量的リスク評価手法（一例として、採点法によるもの）など、リスク評価手法が用いられていることが確認された。英国におけるリスク評価手法取り入れの背景には、1988年7月北海でのパイパーアルファの事故を契機に、石油開発における危機管理システムを技術的にサポートする方法として、リスク評価手法についての研究が盛んに行なわれるようになったことが挙げられる。なお、欧米においても、保安に関する考えが日本に近いといわれるドイツのように、パイプラインの設計や維持管理に、明確なリスク評価手法を取り入れていない国もある。

表-1 欧米におけるパイプライン維持管理へのリスク評価手法の適用状況

国	規制当局	規制	ガスパイプラインの維持管理への適用	企業名
UK	HSE	Pipelines Safety Regulations	多くは、定性的リスク評価、一部、定量的リスク評価や、定量リスク評価と定性リスク評価を組み合わせ	BP、Shell、Total、Conoco Phillips BP (Forties PLS)、InnoveneGrangemouth 製油所/化学 PL Shell (エフレ PL) Huntsman (エフレ PL) Transco
Norway	PSA	Regulations relating to design and outfitting of facilities in petroleum activities (the facilities regulations) section 58 Regulations relating to conduct of activities in petroleum activities (activity joint regulation) section 47	定性的リスク評価	Gassco
Germany	EnWG 連邦鉱業法	GasHL-VO(High-Pressure Gas Pipeline Regulation)	リスク評価の手法は用いられていない。	E.ON Ruhr Gas AG、他3社
USA	OPS	Federal pipeline safety regulations. Part 192 – Natural gas	定性的リスク評価 ASME B31.8 S を適用 一部、半定量的評価手法	Shell, PG&E Duke Energy
Canada	NEB	Onshore pipeline regulations 1999	許容リスクレベルを達成するために行なわれる定量的リスク評価。  定量リスク評価と定性リスク評価を組み合わせることで計画された検査とメンテナンス	TransCanada

### 3. 我が国におけるパイプライン維持管理へのリスク評価手法の適用状況

我が国の場合は、維持管理においては、各事業者は各自定めた保安規定に基づいて、細かい管理を行っているため、リスクの大小を数字の上で明確化して、維持管理頻度などを緩和するといったいわゆる「欧米型リスク評価手法」（以降、単にリスク評価手法と称す）は取っていない。ただし、実際の維持管理において、条件のより厳しいところは、特に細かな維持管理を実施するといった方法が、経験に基づいて行われている。

### 3.1 日本のパイプラインの維持管理にリスク評価手法が適用されていない理由

日本のパイプラインの維持管理にリスク評価手法が適用されていない理由として、以下が考えられる。

- 日本のパイプラインの多くは、人口密度の比較的高い箇所に設置されることや、全ての地域で地震の影響を考慮しなければならないことから、設計係数が、海外各国の市街地にあたる最も厳しめの設定に一本化されている。このことから推測できるように、特に高い安全性を意識した設計がなされており、リスク評価により、部分的に安全率を緩和する考え方が馴染みにくかった。
- 国内の場合、海外と比較してもともと安全性の高い設計と維持管理がなされているため、リスク分析や評価のもとになる事故データも少なく、かつ、海外における事故データとはその前提となる元々の設計や環境条件が異なることから、直接取り入れることはできない。即ち、欧米の手法として提案されたものを直接取り込むことは難しい状況にある。
- 日本のパイプライン事業者は、ガスの安定供給責任を負っていることから、細やかで厳格な管理を行っており、リスク評価的な概念が馴染みにくい面がある。
- 国内の場合、海外と比較してパイプラインの全長が短く、パイプラインセクション毎に維持管理の内容を簡略化しても、スケールメリットが生じ難い。
- 国内でリスク評価手法の取り入れに関する動きが一步進んでいる化学プラントと比べると、ガスパイプラインは設置場所と条件によって一品一様であり、異なる施設を同一共通化して論じるのが難しい。

### 3.2 リスク評価を維持管理に取り入れる利点と、導入に必要となる前提

これまでの国内外の調査を通じて得られた、リスク評価を考慮した維持管理による利点および導入に必要となる前提について下記に列記する。

#### <利点>

- 検査頻度、検査項目の最適化ができるために、維持管理費用の合理的配分が期待できる。
- リスク評価手法導入に伴って、損傷データなどの蓄積や共有化が推進され、品質の向上に繋がる事が期待される。
- 敷設時期、敷設場所等、様々な条件が異なるパイプラインセクションに対し、維持管理の意思決定に科学的合理性をもたせられる。
- 従来維持管理方法に対する評価が行える。
- 従来経験に基づいて、バランスを考慮して実施していた検査頻度、検査項目の選定がシステム的に行えるため、担当者の少数化や高齢化に対しての、技術継承問題の解決につながる可能性がある。

#### <導入に必要となる前提>

- 対象パイプラインと類似の条件下で、損傷データが蓄積されていること。
- 種々の状況下におけるパイプラインの破壊、腐食などのメカニズムが解明されていること。

- リスク評価の結果を利用して、検査頻度、検査項目などの緩和が可能で、合理化につながるような、法基準・審査の枠組みができてきていること。
- リスク評価手法が確立しており、運用可能なソフト、評価基準やデータベースが整備されていること。
- 上記項目を整備するために必要な費用が確保でき、受益者やパイプラインに近接する人々を含めて社会的認知が得られること。
- リスク評価手法に関する、担当者の教育や訓練が適切にされていること。

### 3.3 維持管理へのリスク評価の適用について

パイプラインに限って、その維持管理へ欧米型リスク評価手法の適用を想定する場合、そのまま取り入れることは難しいと考えられる。欧米におけるリスク評価手法は、大事故を契機として発達したものであるが、このような大事故を経験していない国内のパイプラインとは、歴史的背景や事情が異なる面もある。したがって、欧米型リスク評価手法を国内のパイプラインの維持管理に適用していくのであれば、前提となる設計条件、敷設条件の違いを勘案した上で、パイプラインそれぞれの仕様や環境条件に適合させていくことが必要である。

## 4. 国内パイプライン維持管理へのリスク評価手法の適用に関する今後の課題

パイプラインの保安に関し、我が国でも法的規制の緩和が進みつつあるが、その一方でそれに応じた企業の自己責任が求められることになる。また、建設後かなり年月がたったパイプラインも増えてきており、その維持管理の重要性は一層重要になってきている。これらの点は、他の社会資本においても同様の背景にある。特に石油プラントや発電プラントの維持管理においては、検査結果を評価し、その後の維持管理に活かしてゆくための適切かつ合理的な方法論が必要であるという認識が広まりつつあり、その手法のひとつとして、リスク評価手法を用いる例も見られるようになってきている。ここでは、こうした背景を念頭におきつつ、維持管理に着目し、今後の課題として以下の2点を挙げる。

### 4.1 リスク評価手法導入のために必要な前提条件の充足

リスク評価手法を運用する場合には、3.2で挙げたような前提条件（①損傷データの蓄積、②種々の状況における破壊、腐食などのメカニズムの解明、③検査頻度、検査項目などの緩和や合理化につながる法基準・審査の枠組みの検討、④リスク評価手法の確立とソフト面の整備、⑤リスク評価に対する社会的認知の拡大、⑥リスク評価手法に関する教育・訓練の推進）を満たしてゆくことが必要である。

### 4.2 ケーススタディ等の実施による効果、適用可否の検討と改善点、課題の明確化

欧米型のリスク評価手法を国内のパイプラインの維持管理に適用していくことを検討していく場合、まずは「採点法による半定量的評価法」など、経験をベースにした従来の維持管理手法に近く、簡易な手法をケーススタディ的に、条件の異なる代表的なパイプラインセクションを幾つかあてはめてみることを有用と考える。これにより、その効果や適用可

否を検討し、実際の運用上の改善点や課題を明らかにしていく必要がある。

## D-4 メタンハイドレート資源開発環境影響評価に関する研究 —地層変形モニタリング装置の開発—

齋藤秀樹

応用地質(株) 技術本部 技術研究所 上級専門職

### 1. 研究目的

石油センターでは、平成 13 年度より経済産業省主導によるメタンハイドレート資源開発研究 (MH21 コンソーシアム) の内、環境影響評価分野を担当している。この分野についての 4 つのサブグループのうち、モニタリング技術サブグループの一環として、本研究は、海域におけるメタンハイドレート生産の際、海底面地盤の変形をモニタリングするための装置を開発することを目的とする。

陸域の地すべり地では、地盤伸縮計による変位観測が一般的である。これは、不動点と地すべり土塊にそれぞれ設置した杭間の距離変化 (変位) を、直接計測する装置である。しかしながら、海底面に不動点を取ることは難しいので、設置する計器単体でその地点の変位を計測したい。そこで、海底面に高精度の地震計 (サーボ型加速度計) を設置し、地層変形にともなう海底表層地盤の動きを加速度として観測して、加速度波形の 2 回積分によって変位を算出するシステムとする。

### 2. 研究内容および成果

#### 2.1 平成 16 年度までの成果

平成 16 年度までには、本技術の基本コンセプトを確立した。キーポイントは、加速度波形に含まれる、短周期・長周期のノイズをいかに除去するかであった。種々のアルゴリズムを検討した結果、短周期ノイズは FIR フィルターによって、また長周期ノイズはカルマンフィルターによって除去できることがわかった。これらのノイズ処理と変位算出のためのソフトウェアを開発し、高精度振動台によるセンサ (サーボ型加速度計 "EpiSensor") の評価とアルゴリズムの検証を行った。さらに、海底で使用するために、耐圧容器にジンバル機構を組み込み、これに各種センサを搭載した実験機 (初期システム) を製作し、室内評価試験を実施した。高精度振動台で発生させた各種ステップ変位を本システムの加速度計で計測し、上記ノイズ処理を施した後に 2 回積分することにより、発生させた変位を再現できることがわかった。

#### 2.2 平成 17 年度の成果

平成 17 年度には、まず、前年度までに製作した実験機 (初期システム) の、陸域地すべり地での性能検証を行った。四国の地すべり地で約 3 ヶ月にわたって実施した連続観測の結果、地すべりのステップ変位を加速度計で観測することができ、その加速度波形から変位を算出できることがわかった。

また、同時に設置・観測した小型のサーボ型加速度計は、感度は初期システムに搭載し

ている高精度加速度計の 1/40 であるにもかかわらず、高速サンプリングおよび上記のノイズ処理を適用することにより、初期システムの高精度加速度計と同等の記録を取得することができた。本システムのプロトタイプ機には、各種センサのほかに、A/D 変換や E/O 変換を行うためのボードを搭載する予定であり、小型センサが使用可能であるとの結論を得たことは、プロトタイプ機の実現性を裏付ける成果である。

さらに、東海沖から熊野灘にかけての海域で、ピストンコアラによる海底土質サンプリングを行い、この土質試料を用いて海底表層地盤の強度特性・クリープ特性の把握を行った。多段载荷による三軸クリープ試験の結果、载荷時の変位と間隙水圧のレスポンスには、タイムラグがないことがわかった。一方、荷重が一定の間には、ステップ変位は観測されず、加速度計に有意な信号は観測されなかった。

### 3. 今後の課題

本研究のフェーズ 1（平成 20 年度まで）の最終目標は、地層変形モニタリングシステムの実証機（プロトタイプ機）を完成させることである。平成 20 年度までの開発内容は以下の予定である。

まず、プロトタイプ機を製作し、室内における性能（振動特性および耐圧性能）評価試験を行う。本試験結果にもとづくシステム改良の後、プロトタイプ機の陸域および浅海域での性能評価試験を行う予定である。浅海域での試験の際には、耐圧容器の海底への設置方法（貫入設置方式）の検証をあわせて行う。

また、プロトタイプ機の完成に向けて、海底観測時のデータ電送・電源供給システムを完成させる。同時に、システム制御および解析処理ソフトウェアを完成させる。

一方、海底表層地盤のクリープ特性の把握を継続実施する。平成 17 年度に実施した三軸クリープ試験に加えて、一面せん断クリープ試験を実施し、実際の海底土質がステップ的変位を起こすかどうか、加速度計によってその動きをモニタリングできるかどうかを検証する。

フェーズ 1 完了時には、水深 2,000m の海底で稼働するプロトタイプ機を完成させ、フェーズ 2 での実施が計画されている海洋生産試験時に、実際の地層変形モニタリングに使用できるよう、検討・改良を継続実施する予定である。

以上

## 二酸化炭素地中貯留推進室部門

## 二酸化炭素地中貯留技術研究開発

(財) エンジニアリング振興協会  
二酸化炭素地中貯留推進室

平成9年12月、国際連合気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)において、平成22年におけるわが国の温室効果ガス排出削減量が平成2年比(1990年比)で6%という目標が合意され平成17年2月には京都議定書が発効したことから温室効果ガス、特に、二酸化炭素の排出削減は、我が国において喫緊の課題である。

二酸化炭素地中貯留技術は、地中へのガス圧入・貯留技術に関し、これまでの天然ガスの地下貯蔵や石油増進回収(EOR)等で蓄積した技術を応用できることから、最も即効的かつ実用的な技術として期待されている。IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change:気候変動に関する政府間パネル)の「二酸化炭素回収・貯留に関する特別報告書」(平成17年10月)でも地中貯留技術が研究開発段階から1歩進んだ実用実証段階にあると報告されている。

本研究開発は、経済産業省の補助金交付事業として(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)と(財)エンジニアリング振興協会(ENAA)が協力して、平成12年度から平成16年度には、長岡地区で地下帯水層への二酸化炭素圧入試験と挙動シミュレータの開発を実施した。引き続き平成17年度から3ヵ年の計画で「科学的技術的知見の集積段階から実適用に向けた技術実証段階への進展」を目指し、二酸化炭素地中貯留技術の確立に向けた研究開発(「総合評価に関する研究」と「安全評価手法に関する研究」)を推進し、二酸化炭素地中貯留に関する総合的な技術の確立を目指している。

エンジニアリング振興協会(ENAA)は、本事業において、以下の6WGのうち3WG(②, ③, ⑤)で調査研究を担当した。今回の成果発表会では、これら3WGの平成17年度成果について報告する。

### <総合評価に関する研究>

- ① 有効性評価WG (RITE)
- ② モデル地点調査WG (ENAA・石油センター担当分)
- ③ 全国賦存量調査WG (ENAA・地下センター担当分)
- ④ 実適用環境整備WG (RITE)

### <安全評価手法に関する研究>

- ⑤ 岩野原モニタリングWG (ENAA・石油センター担当分)
- ⑥ 地中挙動WG (RITE)

## D-5 モニタリング手法としての物理検層について

渡辺 二郎

二酸化炭素地中貯留技術研究開発

岩野原モニタリングWG

(財)地球環境産業技術研究機構 RITE エン振協分室 研究員

(株式会社物理計測コンサルタント 営業部 課長)

「二酸化炭素地中貯留技術研究開発」における二酸化炭素圧入実証試験は平成 15 年 7 月 7 日より新潟県長岡市の帝国石油(株)岩野原基地に掘削された圧入井への二酸化炭素圧入により開始された。圧入対象層は地表面下約 1,100m に位置する帯水層であり、平成 17 年 1 月 11 日までに累計 10,405t の超臨界二酸化炭素が圧入された。実証試験フィールドには圧入井を取り巻くように観測井 3 坑が掘削され、圧入された二酸化炭素の地下挙動をモニタリングする目的で各種の測定が行われた。物理検層は測定センサを坑内に降下し坑井近傍の岩盤物性値を坑井に沿って連続的に計測する手法であり、二酸化炭素モニタリングの一手法として上記観測井において平成 18 年 3 月 6 日までに 30 回実施された。

### 1. 調査目的

帯水層への二酸化炭素圧入により地層孔隙中の地層水の一部は二酸化炭素に置換される。地層水と二酸化炭素の混合流体は地層が本来持つ物理的特性に変化をもたらす。本調査はこの物理的特性変化をモニタリング検層により検出し、観測井における二酸化炭素の到達、到達後の観測井近傍における二酸化炭素の挙動把握を目的として実施された。

### 2. 調査内容

#### 2.1 モニタリング検層

本調査では二酸化炭素の地下挙動に伴う帯水層の物性値変化をインダクション検層（比抵抗値）、音波検層（弾性波速度値）、中性子検層（孔隙率）の 3 種のモニタリング検層により測定した。帯水層における二酸化炭素の影響の有無は各観測井対象層における二酸化炭素圧入前の物性値（ベースライン）と圧入開始後の物性値を比較することにより知ることができる。また、二酸化炭素圧入後に反復測定を行うことにより二酸化炭素の地下挙動とその結果発生する物性値変化の相関を経時的に把握することが可能である。検層工程を図-1 に示す。

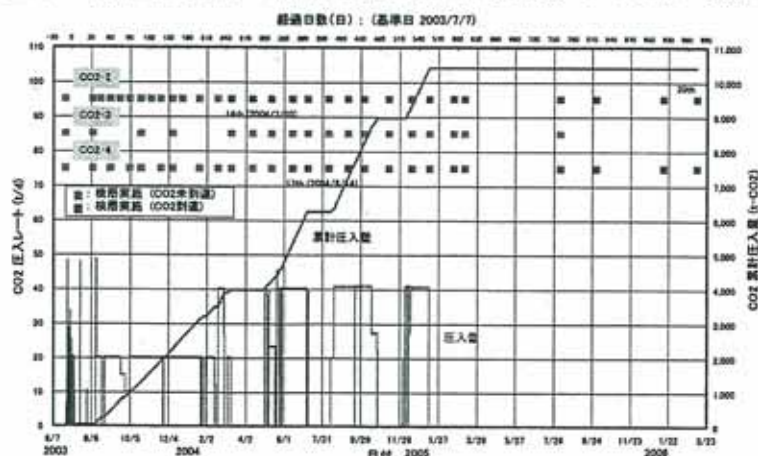


図-1 モニタリング検層工程と二酸化炭素圧入状況

## 2.2 調査結果

平成 16 年 3 月 10 日実施のモニタリング検層において二酸化炭素到達に起因すると思われる物性値変化が観測井 CO2-2 坑(帯水層レベルで圧入井より約 40m の距離)で確認された。同坑における二酸化炭素到達前後の測定結果を図-2 に示す。これによると二酸化炭素の到達にともない P 波速度および中性子孔隙率の減少、比抵抗値の上昇が確認できる。また同年 6 月 14 日、CO2-4 坑において二酸化炭素の到達が確認された。二酸化炭素到達後の物性値変化は概ね変化量、深度方向の変化域ともに増加する傾向にある(図-3)。また、中性子検層の結果より帯水層内の二酸化炭素飽和率を推定した。これらの結果よりモニタリング検層が二酸化炭素の地中挙動把握に有効であることが実証された。

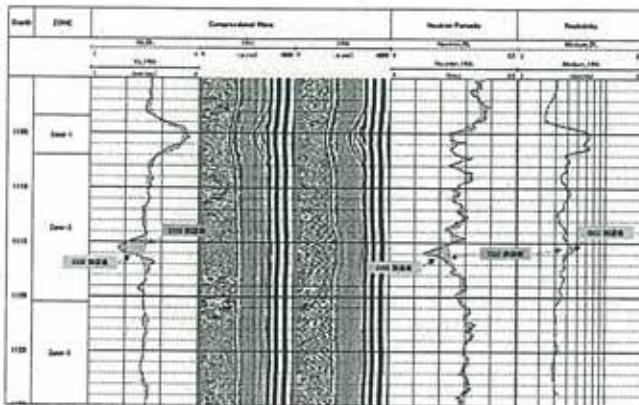


図-2 二酸化炭素到達による変化(CO2-2)

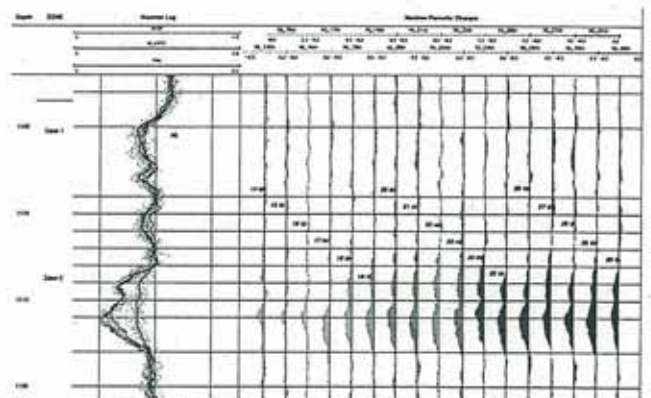


図-3 二酸化炭素到達後の中性子孔隙率の変化(CO2-2)

## 3. 課題と展望

中性子検層より得られた帯水層の二酸化炭素飽和率とこれに対応する P 波速度の変化には相関関係が見られる(図-4)。この関係は概ね Gassmann 理論を反映しており同帯水層における両者の関係が判明することにより、物理検層以外の手法による弾性波探査結果より地中の二酸化炭素挙動を推定することが可能となる。

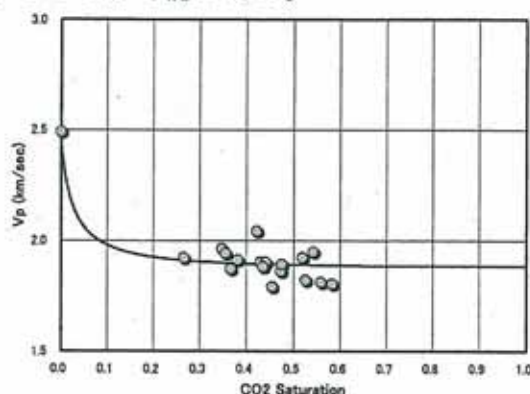


図-4 二酸化炭素飽和率と P 波速度の関係 (CO2-2,@1,160m)

また、地層比抵抗値は再現性に優れ、帯水層中の二酸化炭素の変化を詳細に表現するが、地層中の二酸化炭素、岩石、地層水等を含めた相互的な電気伝導のメカニズムは不明な点もあり、比抵抗変化より二酸化炭素の定量的変化を推定することは難しい。今後これらの関係を明らかにすることによりさらなる二酸化炭素地下挙動把握の高精度化が期待できる。

## D-6 想定モデル地点調査 平成17年度成果報告

古川 博宣

二酸化炭素地中貯留技術研究開発

想定モデル地点調査 WG

(財)地球環境産業技術研究機構 RITEエン振協分室 主任研究員

((財)エンジニアリング振興協会 石油開発環境安全センター 研究主幹)

### 1. 調査目的

地中貯留技術は、地理的に広がりがあるとともに、排出源からの二酸化炭素の分離・回収、二酸化炭素の輸送および貯留層への圧入という多様な技術分野を総合したシステムであることから、想定モデル地点調査（本調査）では、各設備のエンジニアリング・スタディを通じて実適用時のシステム・イメージを策定する。その上で二酸化炭素排出源ごとの排出量と稼働状況、設備設置のための用地・用役、輸送ルート状況等の条件を明らかにし、想定地点での実施に関してシステム構成上の技術課題を抽出し、解決方法を提案する。

また、排出源企業や周辺状況に関する調査に基づき、二酸化炭素の圧入規模に応じた各設備の建設費、ランニング・コストを検討し、複数のシステム構成における圧入コストを算定するとともに、構成要素ごとの一般的なコスト・データを整理するものとする。

### 2. 研究成果—想定モデル地点のエンジニアリングスタディ

#### 2.1 モデル地点・実適用規模の想定

以下の3項目を満足することを条件にモデル地点を選定した。

- (1) 実適用規模の二酸化炭素地中貯留が可能な大規模な構造的地下帯水層の存在が期待できる。
- (2) 貯留層等の諸データが比較的豊富に揃っている。
- (3) 近傍に二酸化炭素集中排出事業所が存在する。

選定した想定モデル地点は、次の2地区4地点である。平成5年度 ENAA 方式による評価結果および全国賦存量調査 WG より、1地点における実適用規模として100万トン/年×20年間を想定した場合、十分な貯留可能量があると判断される。

- ① 北海道地区 苫小牧地点（海域）
- ② 北海道地区 鵠川沖地点（海域）
- ③ 新潟地区 阿賀沖地点（海域）
- ④ 新潟地区 南阿賀地点（陸域）

二酸化炭素排出源から実適用規模を想定すると、製鉄所、セメント工場、および、製紙工場では、一設備あたり100万トン/年規模の二酸化炭素排出が期待できる。火力発電所は稼働率・負荷率変動が大きいため、50～100万トン/年規模であり、製油所の水素製造設備では、一箇所あたり10～40万トン/年規模となる。分離回収プラントの設備サイズからも概ね100万トン/年を1ユニットとすることが現実的と考えられる。

### 3. 実適用に向けた技術課題

#### 3.1 排出源（分離・回収）に係わるもの

- (1) 発電所：排ガス温度低下(LNG火力)、総合的な熱利用効率の改善（蒸気源の確保）および老朽化に伴う操業率低下の影響
- (2) 製鉄所：高炉ガス（BFG）利用プロセスへの影響把握
- (3) 製油所：製油所ごとに大きく異なる水素製造装置の稼働率（平均44%）の把握
- (4) セメント工場・製紙工場：セメント工場排ガスの分離回収プロセスへの影響。工場が内陸部にある場合、設備建設時の大型機器搬入や二酸化炭素輸送への制限。

#### 3.2 輸送方法に係わるもの

パイプラインの高圧化（CO<sub>2</sub>の二相流を避ける観点からは4～9 MPaの圧力範囲を避けることが望ましい）および安全対策（空気より重い二酸化炭素の緊急放散設備）等が課題である。

#### 3.3 貯留方法に係わるもの

海域、陸域ごとに地質調査、坑井掘削、圧入設備、圧入操業およびモニタリングの観点から課題の抽出と対策案の検討を行った。

##### (1) 貯留層における地質情報の不足・不確実性

- ① 事前調査（地震探査、調査井掘削）
- ② 地質モデルの構築、数値シミュレーション
- ③ 圧入可能量の再評価 → 圧入性評価、坑井デザイン
- ④ モニタリング仕様およびコストの見直し

##### (2) キャップロックのシール性能評価

- ① シール能力関係の調査・検討

##### (3) 坑口での圧力条件の影響評価

- ① 二酸化炭素の圧入温度、相変化の影響評価 → 坑井の管内流動シミュレーション

##### (4) モニタリング関連の技術確立

- ① 関連技術の最新動向に関する継続的な調査および実証試験等による確証
- ② 地震探査記録に基づく二酸化炭素検知技術の開発とコストダウン
- ③ 早期漏洩への対応
- ④ 既存井への影響評価

### 4. 想定モデル地点での実用化イメージと貯留コスト

北海道地区および新潟地区の二酸化炭素排出源と圧入候補地の配置に基づき、排出源から圧入候補地まで複数の組合せで全体システム構成例を設定し、実用化時のイメージを策定した。

これらのモデルにおける貯留コストは以下の通りとなる。全体コストのなかでは分離回収が占める割合が大きい。また、パイプライン輸送は高価であり、極力最短距離とするように分離回収サイトと圧入サイトの組合せを選定することが重要である。

#### (1) 貯留コスト（北海道地区）

1箇所の火力発電所、製油所ないし製紙工場と1箇所の圧入サイトの組合せでは、分離回収・昇圧・輸送・圧入の合計コストがCO<sub>2</sub>トン当たり7,000～7,700円となった。輸送距離がこれより長距離である製鉄所からのケースでは、主として輸送コストの増加により合計コストが10,000円/トン・CO<sub>2</sub>となった。

また、製鉄所・製油所・火力発電所の3ヶ所からの二酸化炭素をパイプラインで合流させて2箇所の圧入サイトで圧入するシステムでは、合計圧入量は234トンであり、合計コストは8,460円/トン・CO<sub>2</sub>となった。

(2) 貯留コスト（新潟地区）

1箇所の火力発電所と1箇所の圧入サイトの組合せでは、分離回収・昇圧・輸送・圧入の合計コストがCO<sub>2</sub>トン当たり8,060～9,300円となった。

5. まとめ

平成17年度の調査の結果、モデル地点での実施に関してシステム構成上の技術課題が抽出されるとともに、複数のシステム構成例における貯留コストが算定された。

平成18年度には、モデル地点において課題抽出・解決策検討をする段階から国内実施に向けて实际的な計画を立てるステップへ展開することとし、以下のような計画で推進する予定である。

(1) 技術課題の解決策検討

① 技術課題の実証的・実務的な解決

- ・ 輸送設備：国内法規制に適した輸送条件の最適化および安全性に関する課題の抽出
- ・ 圧入設備：圧入可能量評価手法の拡充および操業方法の整理

② 「エンジニアリング・ドキュメント」（設計指針）の整備

(2) 大規模排出地域を対象としたシステム・イメージ策定

① 大規模排出地域近傍の圧入可能量評価とFS

② 大規模排出源を対象としたシステム・イメージの策定

# D-7 全国賦存量調査 平成17年度成果報告

三井田 英明

二酸化炭素地中貯留技術研究開発

全国賦存量調査 WG

(財)地球環境産業技術研究機構 RITE エン振協分室 主任研究員

((財)エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター 研究主幹)

## 1. 調査目的

本調査は、帯水層を貯留層とした場合、日本において十分な貯留可能量が存在することを十分な信頼性を持って示すことを目的とし、その第一段階(平成17~19年度)として、日本の地質状況において地中貯留が実現可能な考え方および概念を整理し検討するとともに、賦存量調査の調査手順・評価手順を全国貯留層賦存量調査法としてとりまとめることを最初の目標とする。第二段階(平成20年度以降)として、この調査法に基づき全国を対象として賦存量の調査・評価を行い、貯留層の分布および貯留可能量を示すことを最終目標とする。本事業は、日本国内全域における帯水層を対象とした二酸化炭素地中貯留可能量を示すものとして計画実施するものである。

第一段階(平成17~19年度)としては、以下の内容を骨子として進めている。

- ① 日本における概略の貯留可能量の再評価【M1】
- ② 大量排出源近傍の貯留可能量の評価【M2】
- ③ 全国貯留層賦存量調査法の提案

## 2. 研究内容

### 2.1 日本における概略の貯留可能量の再評価 (H5 全国貯留層賦存量の見直し)【M1】

わが国における帯水層を対象とした二酸化炭素地中貯留の有効性評価の基礎データとするために、わが国において近い将来(例えば2020年)、経済的・技術的に利用可能な帯水層賦存状況を見直す。また、「CO<sub>2</sub>地中処分技術調査 平成5年度報告書」の概算結果について、その後利用可能となったデータ等で得られた知見を加えて、より現実的な観点から二酸化炭素地中貯留量の見直しを行い、新たにCO<sub>2</sub>地中貯留量の算定を行った。

#### (1) 帯水層カテゴリー区分の考え方 (見直し)

帯水層カテゴリーは、カテゴリーA(シール層が期待されかつクロージャーが想定される貯留層)およびカテゴリーB(連続的なシール層が想定される貯留層)に大別した。各カテゴリーは主に国による基礎調査(基礎試錐および基礎物探)で取得された地質データにより、評価精度が異なることを考慮し、さらに構造的帯水層を3つの準カテゴリー、非構造的帯水層を2つの準カテゴリーに細分した。

図 2.1  
帯水層のカテゴリー分類概念図

地質データ		カテゴリーA (貯留位置: 資料・新層構造) <small>コア・土質調査等からシール層・シール層の有無を判断する</small>	カテゴリーB (貯留位置: 同資料構造) <small>資料のシール層の有無を判断する</small>	評価精度	貯留量
地質図	坑井・調査データが豊富	A1(旧1)	B1(旧3)	高	中~小
基礎物探	坑井・調査データあり	A2(旧2)		高~中	中
基礎物探	坑井なし、調査データあり	A3(旧4の一部)	B2(旧4)	中	大
貯留タイプ		Physical Traps +ラップガニズム検証済(岩野帯)	Physical/Residual Traps +ラップガニズム検証中		・貯留層1,000mを想定 ・片断は層区分を伴った貯留層も期待
貯留概念図					・地下100m以上かつ4,000m以上 ・水深区分CO <sub>2</sub> は、0.05~1,000at ・貯留層の厚さ約1(延床/透層)
貯留ポテンシャル		中	大		・データ数・数により評価精度が異なる(貯留層地質、シール層力、CO <sub>2</sub> 移動、断層)

F国産地からびり内海(瀬戸内海、大瀬湾、伊勢湾など)は対象としていない

新規の帯水層のカテゴリー分類について図 2.1 にまとめた。なお東京湾を除く内陸盆地や内湾（瀬戸内海，大阪湾，伊勢湾など）は対象としていない。

## (2) 概算貯留可能量の検討手法

算定式は、CO<sub>2</sub> 地中貯留可能量を見直すにあたり、下記の式を用いて算定を行った。算定には平成 5 年度当時の算定式にはない貯留率(Sf : Storage Efficiency Coefficient) および飽和率(Sg : Saturation)という概念を検討し、新たな地質パラメータとして加えた。この貯留率、飽和率については、地質条件、坑井設計・配置、開発計画などの諸条件により大きく変動するため、カテゴリー別にパラメータを与えている。

$$\text{地中貯留量} = Sf \times A \times h \times \phi \times Sg / BgCO_2 \times \rho$$

Sf	: 貯留率(50%または 25%)	Sg	: 超臨界 CO <sub>2</sub> 飽和率 (50%)
A	: 面積	BgCO <sub>2</sub>	: CO <sub>2</sub> の容積係数 (約 0.003m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
H	: 有効層厚	ρ	: CO <sub>2</sub> 密度 (1.976 g/l@標準状態)
φ	: 孔隙率		

## (3) 概算貯留可能量の評価結果

平成 5 年度以降に掘削された基礎試錐、基礎物理探査ならびにこれまで未検討であったデータ、および現在における地中貯留技術の知見をもとに、わが国における概算貯留可能量を見直した結果について、平成 5 年度調査との評価結果の比較を表 2.1 に示した。再評価の結果、日本における CO<sub>2</sub> 貯留可能量は平成 5 年度当時に比べ約 1.6 倍に増大したことが示された。

表 2.1

平成17年度評価結果			平成5年度評価結果	
カテゴリー区分		貯留可能量 (百万トン)	カテゴリー区分	貯留可能量 (百万トン)
カテゴリーA	A1	3,492	カテゴリー 1	1,987
	A2	5,202	カテゴリー 2	1,541
	A3	21,393	カテゴリー 4	72,042
カテゴリーB	B2	88,477		
	B1	27,532	カテゴリー 3	15,847
	合計	146,096	合計	91,417

CO<sub>2</sub>飽和率50%

## 2.2 大量排出源近傍の貯留可能量の評価【M2-1】

わが国における帯水層を対象とした二酸化炭素地中貯留の基礎資料とするために、地中貯留の考え方、概念等を踏まえた上で、大規模排出源集中域近傍を対象として既存の地質資料を収集・整理し、実構造をもとに貯留層モデルを例示し、概算貯留層を試算することを目的とする。即ち、石油・ガス田の調査が行われていない、かつ大規模排出源集中地域近傍での貯留可能量を試算する。今年度は、大規模排出源近傍について貯留可能性を検討し、当該域の貯留可能量の一次試算を行った。

### (1) 調査地点の選定

図 2. 2 に我が国の主な排出減と排出量を示す。日本の二酸化炭素の大量排出源地域は限定されており、東京湾から北部九州にかけて直線状に分布している。この大量排出減集中地域の中から、特に年間排出量が多い大規模排出源集中域を今年度の対象地域することとし、「大阪湾地域」「伊勢湾地域」「北部九州地域」「東京湾地域」の 4 地域を選定した。

これらの地域の堆積岩類は大きく次の 2 つのグループに分かれ、

前者は、比較的新しい地質時代に堆積したもので、流体（石油、天然ガス）を貯留した実績がある地質である。

後者は石炭を挟在し、比較的古い時代に堆積した地質である。

**伊勢湾、大阪湾、東京湾地域**

……新第三紀～第四紀の堆積岩類（海成層、河成層および湖成層）

**北部九州地域**……古第三紀～新第三紀の堆積岩類（夾炭層）

なお、瀬戸内地域は 4 地域と同等の排出量を示しているものの今回の検討対象から除外した。瀬戸内地域では 800m 以深に地中貯留可能と想定される砂岩・砂岩優勢層が広域に認められず、花崗岩類や古い時代の酸性岩類が分布するためである。

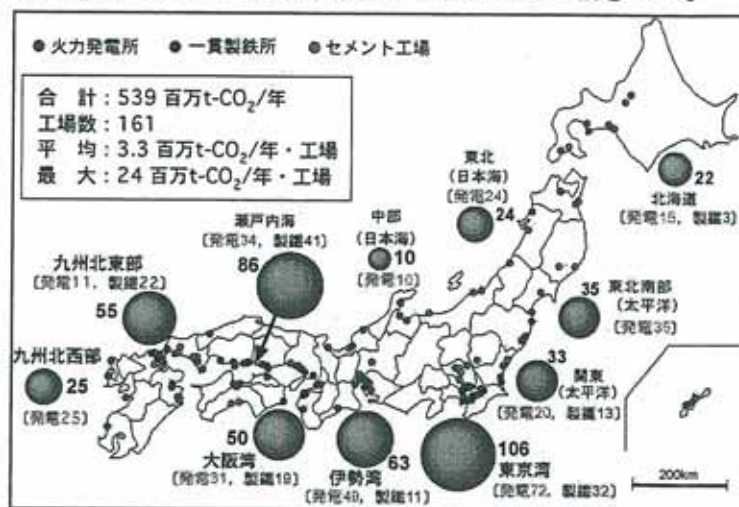


図 2.2 我が国の主な排出源と排出量

## (2) 調査方法の概略

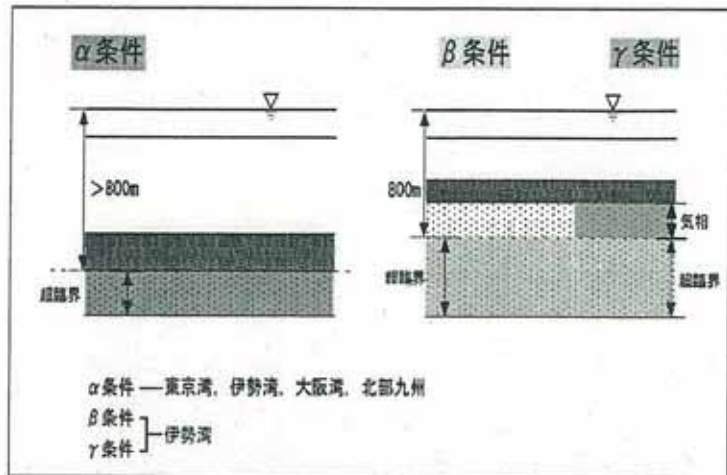
本年度は、CO<sub>2</sub>を圧入する器（貯留対象層）の構造把握および物性値の取得により、理論的貯留可能量を算出することが目的である。理論的貯留可能量の算出は、①器の構造の推定、②計算パラメータの推定という 2 つの流れから構成される。①器の構造の推定にあたっては、各地域の関連資料の収集整理、地質構造の推定により、貯留対象層および遮蔽対象層を想定する。②計算パラメータの推定にあたっては、文献収集整理、露頭から採取した岩石試料による室内試験により、必要なパラメータを推定し設定する。これらの 2 つの流れから得られる検討結果より、貯留対象層と遮蔽対象層の組み合わせなどの水理地質構造を推定し、各地域の貯留可能量の概算を行うこととした。ただし、4 地域のうち東京湾についてはアプローチが異なる。東京湾は、産業技術総合研究所(AIST)が実施していた、高精度化 WG の東京湾に関する既存地質資料から本データの提供を受け貯留可能量を算定したものである。

## (3) 各地域の貯留条件の整理・検討

図 2.3 に貯留層と遮蔽層の位置関係と貯留 CO<sub>2</sub>の状態変化を示す。わが国の臨海の平野や沿岸および海域では、図に示すように CO<sub>2</sub>が貯留に適した超臨界状態(約 73bar, 約 31℃)となり得る約 800m 以深の深さと遮蔽層との位置関係から、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  の 3 条件が考えられ、以下に示す。なお、今回の理論的貯留可能量の算定は  $\alpha$  条件のみを対象としている。

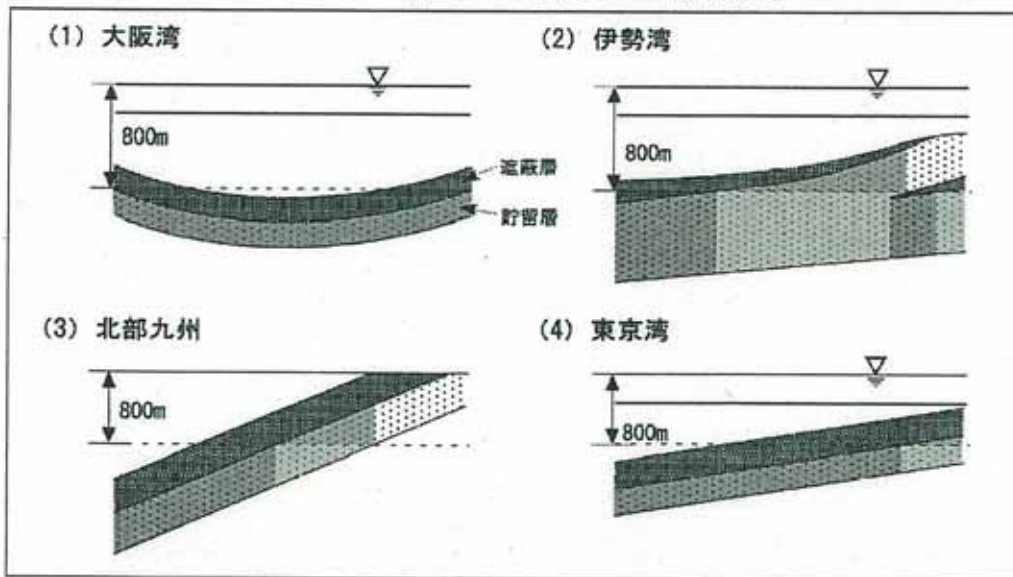
図 2.3 貯留層と遮蔽層の位置関係と貯留 CO<sub>2</sub> の状態変化

- α 条件；遮蔽層と貯留層がともに 800m 以深にある場合、CO<sub>2</sub> は超臨界状態。
- β 条件；貯留層は 800m 以深でも遮蔽層は 800m 以浅にある、CO<sub>2</sub> は超臨界状態。
- γ 条件；β 条件の超臨界 CO<sub>2</sub> が時間の経過に伴い 800m 以浅に移行したもの。CO<sub>2</sub> は気相が主体となる。



この深度 800m を考慮した場合における、大量排出源 4 地域で想定される貯留概念を図 2.4 に示す。特に伊勢湾は、東京湾や北部九州と同じ同斜構造を示しているが、遮蔽層の連続性が悪く地表に向かって開放されている部分が推定されることが特徴である。

図 2.4 各地域で想定される貯留概念



(4) 各地域の理論的貯留可能量

各地域の地質構造検討結果を元に、M1 の算定式により概算の貯留可能量を算定した。パラメータは全て M1 で使用した値を適用した。即ち、貯留率 (Sf) は非構造性帯水層の 0.25 を、また CO<sub>2</sub> 飽和率は、海外の事例と比較して妥当な 0.5 を用いた。

理論的貯留可能量は、東京湾・伊勢湾・大阪湾・北部九州各地域を算定した結果、それぞれの地域で数億～数十億 t /Co<sub>2</sub> 以上の算定結果が出ている。今年度は、初年度の検討であるため、遮蔽層、断層などからのリークを想定しない前提で貯留対象層の体積を算出したこと、既存資料データのみを検討していること、まだ地質構造そのものの精度に課題がある等種々の課題がある。したがって、算定された貯留可能量もあくまで試算・概算の位置づけにあるといえる。

### (5) 各地域の地質構造検討結果

今年度における調査の大きな成果は、既存資料を収集・整理し、地質構造を検討することによって、これまで二酸化炭素地中貯留の視点から地質的に検討されていなかった大規模排出源集中域近傍の地点(上記④地域)の、いわゆる非構造的帯水層において二酸化炭素地中貯留の可能性が見出されたことである。

### 2.3 日本の二酸化炭素貯留層賦存量分布

今年度の日本における概略の貯留可能量の再評価【M1】および、大規模排出源近傍の貯留可能量の評価【M2-1】の成果をもとに「全国貯留層賦存量分布図 Ver.2」を示した。

### 3. まとめ

今回の検討の結果、日本におけるカテゴリ-Aならびにカテゴリ-Bと称した帯水層のCO<sub>2</sub>貯留可能量は、平成5年度の調査と比較すると増大したと考えられる。今後は、経済性を加味した検討により、どういった地域がCO<sub>2</sub>地中貯留に適しているのか、ということが明示されることを望むとともに、カテゴリ-B帯水層が日本のCO<sub>2</sub>地中貯留に対して本当に貢献できるかどうか、技術的検証を進めることが望まれる。

大規模排出源近傍の貯留可能量を検討した4地域の場合、大阪湾地域での貯留可能量の推定結果がもっとも精度が良いが、これまでに貯留可能量の概算が実施された、全国の資源探査地域(石油・天然ガス調査地域)に対して、深部での調査データ(反射法地震探査や基礎試錐など)が少ないことに変わりはない。したがって、深部地質構造の確からしさ、原位置の水理特性を踏まえたいわゆる水理地質構造の把握について、精度を向上させていくことが今後の課題である。