

1. 研究背景と目的

21世紀において、中・長期的な地球温暖化対策は実効的段階に入っていく。人類が直面している課題に対し今後の成長が著しいアジアのエネルギー市場が中心的存在となることは間違いない。日本をはじめ中国やその他開発途上国を含むアジア各国が共通の排出削減制約の下で行動し、経済的な発展を維持しつつ目標を達成することが重要な課題となってくる。気候変動枠組条約の目的を達成するために締結された京都議定書においては、すでに第一約束期間（2008～2012年）終了後、2013年以降の先進国の削減約束について既に検討、議論が始まっており、引き続きあらゆる場を通じて共通ルールの構築に向け積極的なアジア各国の協力が望まれる。

こうした背景の中、現在、二酸化炭素を排出源の火力発電所において分離回収し、地中に圧入し、隔離固定いわゆる「地中貯留」を行う技術に注目が集まっている。UNFCCCの第7回締約国会議（COP3）においてまとめられたマラケシュ合意においては、CO₂の地中貯留技術についての評価を行うことを気候変動に関する政府間パネル（IPCC）に勧告し、これを受けたIPCCは2005年、特別報告書の作成を行った。この特別報告書において地中貯留技術は一部大きな課題が残っていることを指摘されながらも、ノルウェーやカナダでの実例が説得力を持った形で報告されている。これにより、CO₂の地中貯留技術は社会的に容認しうる技術として、今後も多くの気候変動防止プロジェクトが進行していくものと予測されている。

IPCCによれば世界全体で少なくとも約2000Gt-CO₂分の地中貯留の技術ポテンシャルがある可能性が高いと推定されている。これは、現在の世界のCO₂排出量の100年分にも相当するものである。地中貯留技術の対象となる石油層、ガス層、石炭層、帯水層は世界各地に偏在しており、CO₂の大きな排出源であるアジア地域においても非常に大きなポテンシャルを有しており有効な技術である。

しかし実例としてのCO₂地中固定技術はヨーロッパおよびアメリカを中心に導入が進んでおり、アジアにおける地中貯留の本格的な導入はまだ行われていない。

本研究では気候変動枠組等により今後排出量の制約を厳しく受けしていくであろうアジア地域におけるCO₂地中貯留の重要性を示し、今後の導入が検討されていくであろう貯留技術に対してそのロードマップの作成に有効な指標（地域の特定、貯留量の推定、技術導入時期の推定、地層サイトの形態など）を与えることを目的とする。この目的を達成するため、未だ黎明期であるといえるアジア地域への地中貯留技術に対し長期間のポテンシャル評価を行う。手法としては最適化エネルギー供給モデルを用いて2100年までの長期的な予測計算を行った。

2. CO₂地中貯留

本研究ではCO₂地中貯留の技術をその貯留する地層の違いからEOR、ECBMR、帯水層貯留、排ガス田貯留の4つを考慮した。この中で商業化されているものはEORだけであるが、帯水層貯留やECBMRなども近年CO₂排出削減の技術として注目が集まっている。現在のEORの技術利用はほとんどが安価なCO₂が供給できるアメリカにおけるプロジェクトであり、CO₂の回収・輸送技術の基盤システムが整えることでアジア起源の排出CO₂を固定できる技術として利用が可能である。帯水層貯留としてはノルウェーのSleipnerプロジェクトやオーストラリアのGorgonプロジェクトなど本格的な導入がアジア以外の地域で検討されている。一方アジアにおいては日本の長岡での実証実験など先進的なプロジェクトが行われているものの、いまだ本格的な導入段階のプロジェクトは動いておらずアジアがこの分野

で高いポテンシャルを有しているにもかかわらず一歩出遅れている印象である。ECBMRにおいてもアジアは石炭の需要が高い地域であり、ポテンシャルの高い地層が偏在していると言える。

アジアにおけるこれらの地層に対するCO₂の貯留ポテンシャルおよび貯留コストの概算についてはIEAやRITEなどが報告しており、今回はそれらのデータを参考にした。

3. 長期エネルギー供給モデル

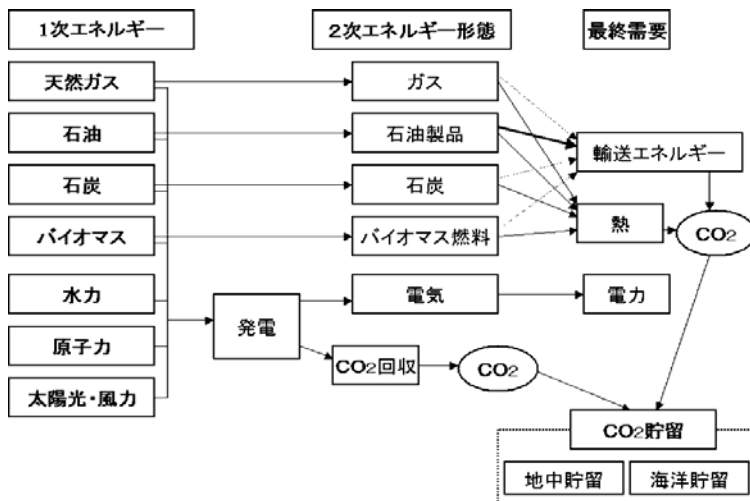


図1 モデルのフレームワーク

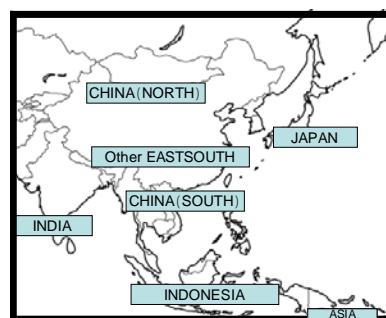


図2 アジア6地域モデルの構築

図1に今回使用したエネルギーモデルのフレームワークを示しておく。今回のモデルでは長期の予測が比較的容易である点、必ず一意に解が収束する点などの利点から線形計画法GAMSを用いた最適化型エネルギーモデルを用いてアジア各地域の地中貯留量を評価することとした。評価にあたりエネルギー総合研究所の黒沢らによる統合評価モデルである「GRAPE」におけるエネルギーモデルを参考として、アジアにおける本研究の目的により即するように新規性を追加したモデルを構築した。

具体的にはまずアジアにおける知見を下にアジア地域を6地域に分けたモデルを作成した。(図2)今回研究の対象とした地域は(日本、中国北部、中国南部、インド、インドネシア、その他東南アジア)とした。

次にECBMRを対象とするアジアにおいては中国およびインド・東南アジアにおいてポテンシャルの高い技術であると考え、モデルに組み入れた。モデルに組み入れる際には資源が追加的に回収される効果も含めて考慮に入れた。

また、帯水層への貯留のモデルについては新しいコストモデルを提案した。これまでのモデルは累積貯留量が増加すると、単位貯留コストが線形で増加するとしていた。しかし、現実のモデルでは後半での注入圧力が加速度的に高くなる(図3)ことなどから非線形的なモデルのほうが現実に即していると判断し、新たなコストモデルを用いたモデルを構築し、(図4)計算を行った。

各地域のエネルギー需要予測などはシナリオで与え、目的関数のコスト最適化とCO₂の大気排出量制約条件などから1次エネルギー供給形態の推移を求め(図5)さらにそこからCO₂地中貯留量を求めた。(図6)

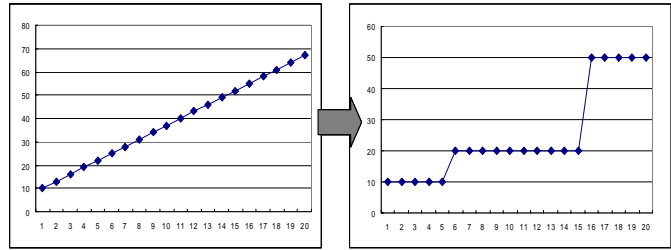
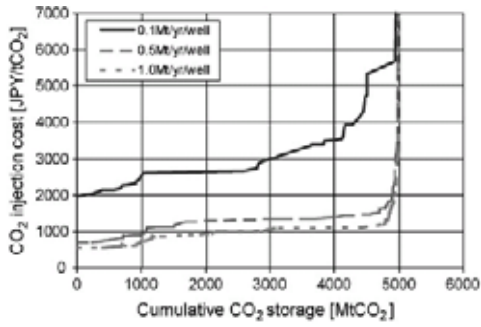


図3 帯水層貯留における貯留コストと貯留量の関係性 図4 線形コストモデルと非線形コストモデル

4. モデルによるポテンシャル評価と経済性

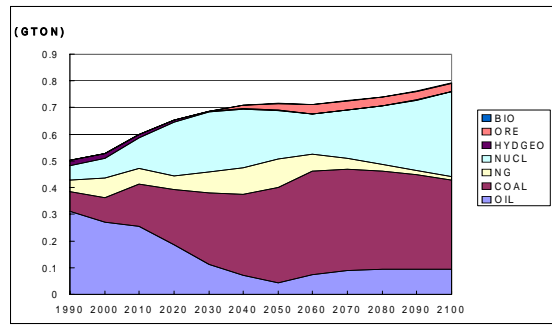
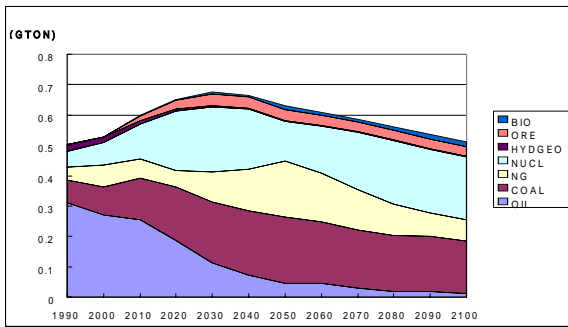


図5 CO₂排出制約条件があるケースと無いケースの日本の1次エネルギー供給形態の推移

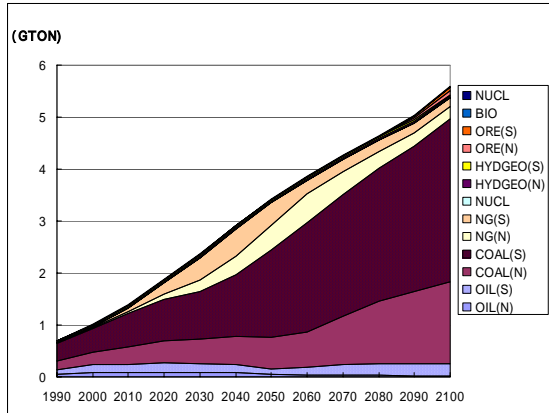
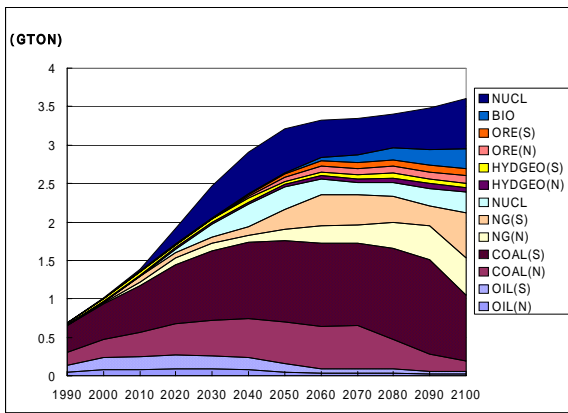


図6 CO₂排出制約条件があるケースと無いケースの日本の1次エネルギー供給形態の推移

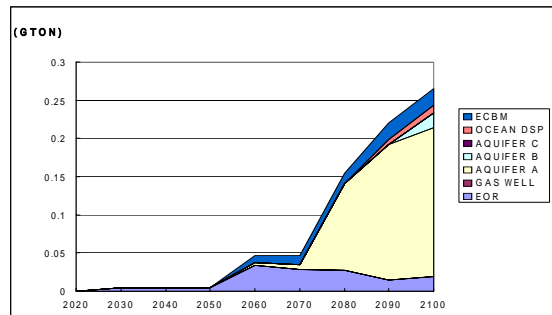
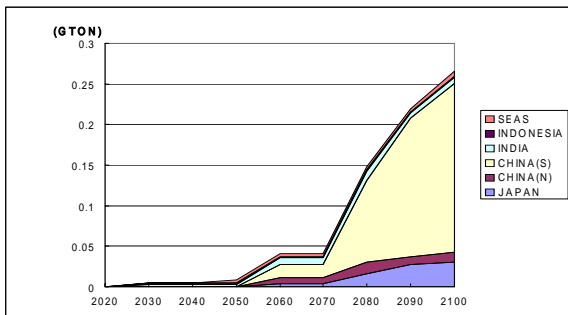


図7 アジア地域別CO₂貯留推移

図8 アジアの地層別CO₂貯留推移

エネルギーモデルを用いてアジア地域における地中貯留のポテンシャルを評価した。中

国に 2080 年以降急激に地中貯留の需要が高まることが図 7 などから分かる。また得られたデータの妥当性を検討するため、感度分析や経済性評価を行った。

この中で CO₂ の制約条件が課せられたときに特に CO₂ 地中貯留技術の重要性が大きくなることが分かった。地中貯留の技術導入に関して地域間での大幅な相違が見られることが理解できた。

得られたデータの下に経済性評価を行った。アジアにおける 2100 年までの EOR による石油の増産量の推移と ECBM による CH₄ 回収の推移を挙げる。割引率を考慮した 2100 年までのこれらの回収生産物の現在価値は約 80 億 US\$ となる。日本は EOR や ECBMR など二次回収物が得られる地層サイトへのポテンシャルがほぼ 0 である。この為アジアにおいては、実質的に最も処理コストがかかることが示唆された。最も大きな貯留量を示している中国よりもコストが高いと見積もられている。一番コストがかからない地域はインドネシアであることも同様に示唆された。

5. まとめと今後の課題

本研究では、長期の予測に適したエネルギーモデルを用い、排出量制約条件下でのコスト最適化から 21 世紀のアジアにおいて各地域への技術導入に向けて各地層がどのようなポテンシャルを有しているか明らかにした。また種々のパラメーターに対し感度分析を行うことで妥当性を検討した。経済性評価により同じアジア地域でも 1 t 当たりの CO₂ 地中貯留にかかるコストは大きな地域格差があることが分かった。

今後の課題としては以下のようなものが挙げられる。

CO₂ の地域間の輸送を考慮する。

中国国内を省に細分化しより詳細な整合性のとれた評価を可能とするモデルを作る。貯留サイトごとのコスト評価をさらに細かくデータとして取り入れる。

地中貯留に関する社会的受容性やリスクなども考慮する。

6. 結論

アジアにおける地中貯留技術の導入は経済的にも優れたものであり、十分に成り立ちうると考えられる。またアジアにおける地中貯留技術による CO₂ の削減効果は現在考えられている経済的に成り立ちうる地球温暖化ミティゲーションの中でも非常に大きなポテンシャルを有していることが分かった。この点からも非常に有効な温暖化防止技術であると言え、特に人口の集中している地域での技術導入は環境へのインパクトも大きい。今後もアジア諸地域では早急な地中貯留技術の導入に対する前向きな施策提言が活発になされていくべきである。現在まだ商業化されていない帯水層・ECBM などへの CO₂ 貯留はアジアにおいては国や政府だけでなく、補助金制度等の優遇措置や炭素の取引市場の確立によって民間ベースにおいて出来るだけ速やかに導入を進めていけるような制度を掲げることが望ましいと思われる。そのためには、貯留コストの削減に向けた基礎研究と社会基盤整備の推進および貯留ポテンシャルの正確な地理的把握が重要である。また、更に詳しく経済性の評価を行うことが求められる。

-
- 参考文献 1 . エネルギー総合研究所、CO₂回収・隔離技術の政策的位置付けに関する検討報告書、2004
- 2 . IEA Greenhouse Gas R&D Programme, Enhanced Coal Bed Methane Recovery with CO₂ Sequestration, PH3/3, 1988
- 3 . 地球温暖化対策技術開発に関する調査 / CO₂ の分離・回収技術に関する調査研究 NEDO/MRI/RITE 平成 13 年度調査報告書 51401158-0、2002