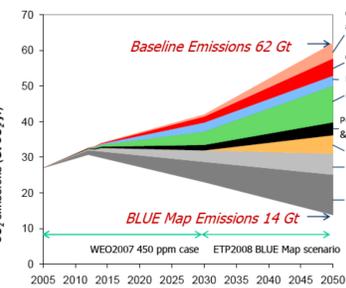


ナチュラル・アナログ研究による二酸化炭素地中貯留の安全性高度化 Natural analogue study for safety of geological carbon sequestration

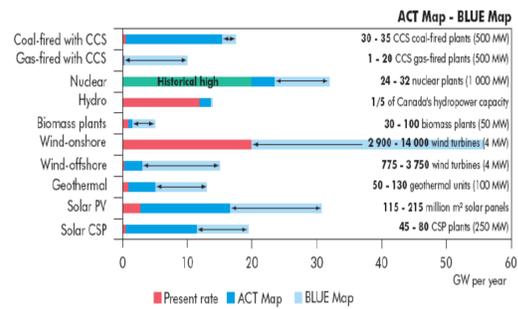
小出 仁 (早稲田大学理工学研究所)
Hitoshi Koide(RISE, Waseda University)

技術貢献ウェッジ



OECD/IEA 2008

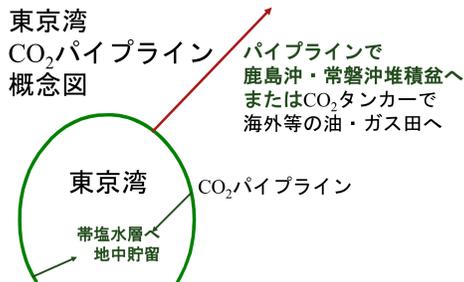
エネルギー革命—平均年間発電能力増:2010-2050



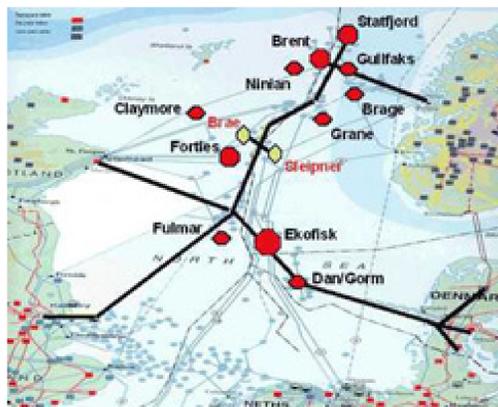
OECD/IEA 2008

CO₂地中貯留(CCS)のインフラ整備

CO₂地中貯留(CCS)による温室効果ガス大幅削減を実現するためには、CO₂地中貯留のためのインフラ整備が必要になります。CO₂地中貯留のためのインフラ整備は、世界的にもまだ始まっていませんが、提案はされています。ヨーロッパでは、北海CO₂パイプラインが提案されています。米国では、CO₂原油増進回収のために既に大規模なCO₂パイプラインが敷設されていますが、温室効果ガス排出削減を目的とした大規模CO₂パイプライン網の建設も提案されています。日本でも、温室効果ガスの大幅排出削減を実現するためには、東京湾や瀬戸内海にCO₂パイプラインを敷設するなどのインフラ整備が必要になるでしょう。CO₂パイプラインは米国などで既に敷設されていますが、大規模なCO₂パイプライン網を実現するには、安全性の研究が必要になります。



北海CO₂パイプライン計画



2008年5月23日「CO₂を安全に埋設する方法を見つける事が温室効果ガスに危険なレベル以下に保てる唯一の道である」とIEA（国際エネルギー機関）のchief economistが語った（ロイター）。欧米で、化石燃料利用にCO₂回収・貯留(CCS)付設を義務化する動きが広がっています。他方で、CO₂回収・貯留(CCS)は温暖化防止に間に合わない。化石燃料を使い続けるためのごまかしだという反対も強くなっています。感情的な反対も多いようですが、2050年に温室効果ガス排出を半減させるために必要な、世界で年々100億トン以上ものCO₂地中貯留(CCS)が可能か、疑問を持つのは当然でしょう。

結論を先に言えば、CO₂地中貯留(CCS)により、世界の温室効果ガス排出を半減させるような大幅削減は十分可能です。ただし、油・ガス田へのCO₂地中貯留は容量不足です。一石二鳥の良い方法ですが、原油生産の方が優先されるので、温室効果ガス排出削減策としては不十分で、CO₂大規模排出源から遠い場合が多い。構造的な帯水層は、油・ガス田の様なガスや軽い流体を貯留できるドームなどの地質構造を持つ帯水層で、油・ガス田より使い易いが、それでもCO₂大規模排出源近くに見つかる事は稀です。

しかし、非構造的（塩水）帯水層は、世界で2兆-3兆トン以上(IPCC,2005, Koide,1997)以上ものCO₂地中貯留ポテンシャルがあり、日本を始め多くのCO₂大規模排出源近くに普遍的に存在しているため、CO₂地中貯留(CCS)の実用化の本命である。塩水帯水層は、地表からほぼ隔離されているが、ガスや超臨界流体の封入能力は完全ではないので、安定なCO₂地中注入技術と長期安全性の確保が喫緊の課題になっている。

年百万トン級の大規模CO₂地中貯留は北海ノルウェーSleipner、アルジェリアのIn Salah、北極圏ノルウェー沖のSnohvitの3カ所で実施されている。Sleipnerでは1996年秋から北海海底下のUtsira砂層にCO₂地中注入が開始され、12年間で累積CO₂貯留量が千万トンに達した。それでも大規模CO₂地中貯留の経験は浅い。しかし、世界各地に天然のCO₂湧出地やCO₂地下貯留サイトが存在し、そこで人間が生活してきた歴史がある。そこで、CO₂地中貯留のナチュラル・アナログ研究が必要になる。

貯留のナチュラル・アナログ研究の主な目的

- (1) CO₂地中隔離構想の科学的・技術的健全性の検証：天然CO₂貯留（鉱床）サイトの研究により、長期地中隔離の概念が科学技術的に健全であることを確認する。
- (2) CO₂地中隔離の安全性検証：地震、地盤変動、地下水汚染、漏洩などのような害が起きる可能性があるか？人間や動植物への害はどのようにおきるか？
- (3) 予測モデル・シミュレーションコードや室内実験の検証、ヒストリー・マッチング：シミュレーションや実験が実際の地下の事象を満足に表しているか？違いがあれば、何が原因か？修正、調整を如何にするか？
- (4) トラップ（隔離）メカニズムの検証：CO₂を地中に隔離する地質環境は何か？リークの経路は？生物圏や大気圏へのCO₂放出は如何なる原因で、どのように起きるのか？
- (5) 長期予測：気候変動、地殻変動、火山・地震活動などの変動要因の影響評価、長期予測は可能か？
- (6) モニタリングの方法：CO₂湧出をモニターする技術とノウハウを取得する。モニタリング技術の有効性を検証する。
- (7) ベースライン状態の確認：CO₂地中隔離による影響を知るためには、人為的に改変する前の常態を知っていなければならない。天然のバックグラウンドのCO₂フラックスはどの程度か？季節変動や降雨による変化、スポット的な高フラックスがあるか？
- (8) サイト要件：地質や土地条件による隔離性能の違いは？サイト選定の要件は？
- (9) リスク評価：環境影響、リスク評価、シナリオ解析、リスクマネジメントの方法、考慮すべき事象の検討。
- (10) 規制：CO₂地中隔離の法規制は如何にするべきか？どこまで可能で、何が不必要か？
- (11) 温室効果ガス削減効果：CO₂地中隔離による温室効果ガス削減効果は如何にカウントするか？温室効果ガス削減事業やCDMとして成立するための要件、記録・報告すべき事項は？



群馬県磯部天然炭酸ガス田における旧炭酸ガス生産井からの炭酸ガス湧出現況
磯部天然炭酸ガス田はCO₂非構造的（塩水）帯水層貯留の最適のナチュラル・アナログと言えます。

松代群発地震ナチュラル・アナログ

1965年～1967年にかけて発生した長野県松代地震では、CO₂を含んだ総量1,000万立方(0.01立方km)もの地下水が噴出した。皆神山の北東部の群発地震中心域に、雁行配列した割れ目帯からなる延長約3kmの地割れ帯(松代地震断層帯)が形成された。1966年月中旬には地震発生がピークを迎え、震央域で最大1mにおよぶ隆起と、地割れ帯付近でCO₂含有水が多量に噴出し、土壌ガス中のCO₂濃度が～3%まで上昇した。CO₂湧出量については確実なデータは無いが、最大40万トン程度以内と推定される。CO₂含有水の噴出を境として、隆起域は沈降し始め、湧水域内では大小の地すべりが発生した。隆起を引き起こした圧力の源は、地表へ湧出してきたCO₂含有水であり、CO₂含有水の上昇・湧出に伴う東西圧縮応力下の破壊現象として、松代群発地震が発生したという「水噴火説」が提唱された。最近の研究により、CO₂が地表での発泡により噴出現象を起こしただけでなく、深部での群発地震発生にも積極的な役割を果たしていた事が明らかになってきている。CO₂を地下に圧入すると、間隙中のCO₂を含む水の圧力が上昇することになり、群発地震の際の松代の地下と似た状態を人為的に作ることになる。したがって、松代群発地震の際のCO₂の挙動は、二酸化炭素地中貯留のナチュラルアナログということができる。特に、地下に貯留されたCO₂の地震時の挙動を知ることができる貴重な例になる。

しかし、松代群発地震では、CO₂の湧出による人畜への被害は無く、温泉水量の増加という益の方があった。地震時の地下に貯留されたCO₂の挙動を評価するためのナチュラルアナログとして、松代群発地震は二酸化炭素地中貯留の安全性を示す例として、世界的にも貴重である。現在でも松代温泉地域ではCO₂に富む温泉水が温泉ボーリング井を通して地下から湧出しており、CO₂含有水は、現在でも震源域に残存していると考えられる。しかし、現在ではCO₂が大量に地表に湧出する状況には無く、湧出しているとしても局所的かつ少量である。地表へのCO₂湧出状況は地表水や浅い地下水に大きく影響されている可能性があり、日本のような湿潤地帯ではCO₂地中貯留の安全性を高める要因として表層水や浅層地下水が重要なことが示唆される。二酸化炭素海底貯留は海洋水の隔離効果が期待できるので、安全性は高いと期待されるが、海底貯留のナチュラル・アナログの研究が必要である。

(詳細については、温暖化防止地球システム ホームページ<http://homepage3.nifty.com/zeroemission/>をご覧ください。)

Natural analogue study for safety of geological carbon sequestration

Hitoshi Koide[1]

[1] RISE, Waseda U.

<http://homepage3.nifty.com/zeroemission/>

The speed of disappearance of the arctic ice and abnormal weather disasters suggest that it passed over the tipping point of global warming. Coal is not only abundant in the proven deposits, but although there exist 10 to 100 times as much deep unminable coal deposits. When use of coal increases, however, global warming may be accelerated. In China, a coal-fired power plant is built every four days on the average. About 150 coal-fired power plants are planned in U.S.A. Carbon capture and storage (CCS) are globally expected as technology which makes zero most greenhouse gas emission of a coal-fired power plant. However, in order to store the huge quantity of carbon dioxide underground for global warming prevention, the concern to cost and safety has barred the early spread of carbon capture and storage (CCS) projects. Cost reduction and the advancement in safety of carbon capture and storage (CCS) are among the most important technological subjects globally. Carbon capture and storage (CCS) still have few cases of the operation with new technology. However, the natural gas reservoirs which are rich in carbon dioxide abundant worldwide. Natural carbon dioxide underground reservoirs exist in the Matsushiro area, Nagano City and in the Isobe area, Annaka City in Japan. The natural gas underground reservoirs of Matsushiro and Isobe in Japan are a dissolved type carbon dioxide underground reservoirs which carbon dioxide is dissolving in brine (high salt concentration groundwater). In Matsushiro and Isobe, although geological structure which serves as effective cap rock is not seen, discharge of the carbon dioxide to surface of the earth is spot-like, and is slight. The shallow light fresh water covers heavy brine and prevents the outflow of carbon dioxide. It is necessary to study the underground behavior of groundwater and gas further. Although carbon dioxide and brine erupted with the Matsushiro swarm earthquakes of about 40 years ago, no casualties were reported. In the comparative study with the Mammoth Mountain in the U.S.A., it is suggested that existence of surface water buffered and reduced damage. In order to develop the safety of carbon dioxide subterranean storage reflecting such natural analog research findings, micro-bubbles of carbon dioxide is dispersed in underground rocks to promote the dissolution to brine and the fixation into carbonates.

ナチュラル・アナログ研究による二酸化炭素地中貯留の安全性高度化

Natural analogue study for safety of geological carbon sequestration

小出 仁 [1]

Hitoshi Koide[1]

[1] 早大理工研

[1] RISE, Waseda U.

<http://homepage3.nifty.com/zeroemission/>

最近の世界各地の異常気象災害や北極の氷の消滅の速さを見聞きすると、地球温暖化のティッピング・ポイントを過ぎたとさえ感じる。石炭は確認されている埋蔵量が豊富なだけでなく、その10倍から100倍もの深部石炭が潜在する可能性があるが、石炭の利用が増えると地球温暖化が加速される恐れがある。中国では、平均して4日毎に一つずつ石炭火力発電所が建設され、米国でも約150の石炭火力発電所建設が計画されている。二酸化炭素回収・貯留 (CCS) は、石炭火力発電所の温室効果ガス排出をほとんどゼロにする技術として世界的に期待されている。しかし、地球温暖化防止のためには膨大な量の二酸化炭素を地下に貯留するため、コストと安全性への懸念が二酸化炭素回収・貯留 (CCS) の早期普及を妨げている。二酸化炭素回収・貯留 (CCS) のコスト低減と安全性高度化が世界的に喫緊の課題になっている。

二酸化炭素回収・貯留 (CCS) は新しい技術で実施例がまだ少ない。しかし、世界各地に二酸化炭素に富む天然ガス貯留層が存在し、日本でも長野県長野市松代地区や群馬県安中市磯部地区などに天然の二酸化炭素地下貯留層が存在する。日本の松代と磯部の天然ガス地下貯留層は、二酸化炭素が高塩濃度地下水 (カン水) に溶解している溶解型の二酸化炭素地下貯留層である。松代と磯部においては、効果的なキャップロックとなるような地質構造は見られないが、地表への二酸化炭素の漏洩はスポット的で、僅かである。軽い淡水からなる表層水が、重いカン水を被覆し、上昇を防いでいるためと考えられるが、さらに地下水とガスの地下挙動を研究する必要がある。

約40年前の松代群発地震時には二酸化炭素が水と共に大量噴出したが、人畜に被害は報告されていない。米国のマンモス山との比較研究では、表層水の存在が緩衝になって被害を軽減した可能性がある。

このようなナチュラル・アナログ研究結果を反映して、二酸化炭素地中貯留の安全性を高度化するため、二酸化炭素を微細泡化して地下注入し、塩水地下水への溶解と炭酸塩固定化を促進する方法を提案する。