

## 第6章 結 論

本章では前章までに述べてきたことを総まとめし、本論文の結論とする。

第1章「地球温暖化緩和のためのCO<sub>2</sub>海洋処理と研究の背景」で得られた結論は、主たる温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の大気中濃度が確実に増えていく中で地球温暖化が進行しており、この温暖化傾向を緩和させるためには、従来の公害物質とは異なり処理量が極めて膨大となること、そのため、大気の430倍の分子総数を有する海洋で処理する方法に期待が寄せられるようになってきたこと、これまで、海洋処理法として、溶解法と深海貯留法とが考えられていること、この分野の研究が開始されてから9年程度を経たに過ぎず、いずれの方法においても、海洋環境への影響等について未解決な問題点が数多く残されていること、特に、CO<sub>2</sub>は500m~1000m以深では海水と反応してハイドレートを生成するが、溶解特性など深海中の性質についてはほとんど明らかにされいなかったこと、その解明がCO<sub>2</sub>海洋処理法の可否を判断する上で不可欠となっていたこと、従来の研究ではハイドレート被覆状態の液泡溶解速度低下の理由として膜抵抗モデルが主流であったこと、ハイドレート共存下の溶解度についてはまったく測られていなかったこと、等である。

第2章「深海条件下のCO<sub>2</sub>溶解実験」で得られた結論は、深海模擬装置を使って観察したCO<sub>2</sub>ハイドレートがCO<sub>2</sub>液泡の周りに膜状にできる性質があり、膜は溶解中もピン張っていること、CO<sub>2</sub>ハイドレートの生成は単に温度と圧力の条件がそろえばできるといった性質のものではなく、核になるクラスターの生成が必要であること、このクラスターの生成は注入方法や注入速度といったものに依存すること、CO<sub>2</sub>の溶解速度には同じ温度圧力であっても二種類の状態(二元性)があり、ハイドレート領域下でハイドレートが生成しない準安定な状態が存在し、ハイドレート領域のCO<sub>2</sub>溶解速度が温度の低下とともに減少し、ハイドレート非生成状態との比較で最大1対3の開きがあること、非ハイドレート領域の溶解度は求められていたが、初めてハイドレート共存下のCO<sub>2</sub>溶解度をCO<sub>2</sub>溶解水からのハイドレート析出実験から求めることができ、ハイドレート共存溶解度が温度の低下とともに減少し、非ハイドレート領域と全く反対の温度依存性を示すこと、この溶解度の温度依存性が溶解速度の温度依存性と酷似しており、これを使えば膜抵抗説を使うことなく拡散律則でハイドレート域での溶解挙動を説明できること等である。

第3章「ハイドレート領域におけるCO<sub>2</sub>の溶解メカニズム」で得られた結論は、メタンやCO<sub>2</sub>の相図から、温度、圧力、溶解度を切り口にした相図を

起こせば、ハイドレート共存下における  $\text{CO}_2$  溶解度の温度依存性の関係が整理でき、ハイドレート共存下での温度依存性が非ハイドレート領域と全く正反対の傾向を示すことの説明ができること、等である。また「冷却管周りの析出ハイドレートと析出開始時間」で得られた結論は、ハイドレート共存溶解度の温度依存性が非ハイドレート領域の傾向と逆転するという前節の結果を裏付ける根拠が得られたこと、ハイドレート析出には時間がかかり温度圧力条件がそろってもすぐにはできないこと、冷却パイプに析出するハイドレート層の厚みは伝熱量のバランスから推定が可能であること、温度上昇に伴い純粋な結晶状ハイドレートが液体  $\text{CO}_2$  小滴となって分解していく事実は、ハイドレートも溶解するという明確な証拠であること、等である。

第4章「溶解の物理モデル」で得られた結論は、膜抵抗モデルや膜欠陥モデルではハイドレート膜が内部の  $\text{CO}_2$  溶解抑制に支配的な役割をはたし、溶解するのは内部の液体  $\text{CO}_2$  であると考えていたがハイドレート域での溶解速度や溶解度の温度依存性に対する説明が困難であること、界面濃度がハイドレート共存溶解度と一致することの説明が困難であること、解離温度近傍の膜強度異常が溶解速度へ反映されないことへの説明が困難であること、形態的には溶解途中の膜に皺やたるみといった現象が起きないことの説明が困難であること、これらの矛盾点をハイドレート膜溶解モデルでは無理なく説明できること、ハイドレート被覆状態の  $\text{CO}_2$  液泡からはクラスター以外には溶け出していないこと、溶解挙動を律則するのは拡散だけであり、溶解度は便宜状の物性値である界面濃度とは異なり物理的な意味を持つ物性値であること、結論的にはハイドレートが固体の溶解度の性質を持つと言えること、ハイドレート領域における  $\text{CO}_2$  溶解度は二元性を持っており、現段階では何時、どのような状況で、どちらの溶解度を使えばよいかは明らかにされていないこと、等である。

第5章「 $\text{CO}_2$  深海貯留法への適用」では、従来提案されてきた海洋処理法を評価し、ハイドレート被覆状態の液泡であっても溶解法に適用可能であるが、液泡径を 3mm 程度以下に押さえなければならぬ困難性があること、溶解法には処理後の  $\text{CO}_2$  が大気に還流する隔離期間が短いという問題点があること、窪地の途中まで  $\text{CO}_2$  を溜める方法によって長期隔離が可能となる、等の結論を得た。

以上、地球温暖化緩和のためのオプションとして  $\text{CO}_2$  海洋処理が有望であるという観点から、特に深海条件下における  $\text{CO}_2$  の溶解特性を中心に述べて

きたが、「地球温暖化緩和を実効あるものにするには、我が国のみならず、国際的な協調と同意の下に取り組まなければならない」ということを締めくくりの言葉としたい。