

## Effects of sea ice growth and melting on air-sea CO<sub>2</sub> flux

(海氷の生成と融解が大気-海洋間の二酸化炭素交換量に及ぼす影響)

### 学位論文内容の要旨

#### はじめに

高緯度海域に分布する海氷は、単なる大気-海洋間の気体交換(例えば二酸化炭素:CO<sub>2</sub>)の障壁として認識されてきた。しかし、実際、海氷は、我々が普段目にする淡水氷とは異なり、多孔性の構造を持ち、気体透過性が有ることが数少ない研究より報告されている。本研究では、海氷の生成と融解が大気-海氷間のCO<sub>2</sub>交換量(フラックス)に及ぼす影響の定量的な評価とそのメカニズムの解明を目的とし、低温室での海氷生成・成長実験及び海氷融解期におけるオホーツク海沿岸サロマ湖(44°10'N, 143°45'E)での氷上現場観測を行った。

#### 低温室での海氷生成・成長実験

低温室での海氷生成・成長実験において、海氷直上空気塊のCO<sub>2</sub>分圧(pCO<sub>2</sub>)は海氷の生成・成長とともに増加した。海氷中ブラインは、塩分濃縮による全炭酸濃度の増加、CO<sub>2</sub>溶解度の減少、炭酸系の平衡の変化によって、pCO<sub>2</sub>が大気に対して過飽和となるため、ブライン・チャンネルを通して海氷から大気へCO<sub>2</sub>が放出されたと考えられる。大気-海氷間のCO<sub>2</sub>フラックスは、海氷成長とともに増加し、氷厚5 cm時には、+0.2から+0.5 mg-C m<sup>-2</sup> hour<sup>-1</sup>(プラスは海氷から大気へのCO<sub>2</sub>フラックスを示す)となり、その値は主に、大気-海氷中ブライン間のpCO<sub>2</sub>差に依存した。これらの結果より、海氷の生成・成長は、大気に対してCO<sub>2</sub>の放出源として働くことが示された。

#### 海氷融解期におけるサロマ湖での氷上現場観測

海氷融解期におけるサロマ湖での氷上現場観測において、大気-海氷間のCO<sub>2</sub>フラックスは、-2.3から +0.5 mg-C m<sup>-2</sup> hour<sup>-1</sup>となった。海氷中ブラインは、主に海氷下河川プルームの影響、アイスアルジーの発生によって、pCO<sub>2</sub>は大気に対して未飽和となるため、海氷

は大気に対してCO<sub>2</sub>の吸収源として働くことが示された。しかしながら、観測期間中、積雪及び海氷表面の融解と再凍結によって出来た氷に海氷表面が覆われる時期があった。その結果、ブライン・チャンネルのような気体交換を可能とする場所が、海氷表面での融解と再凍結によって塞がれたため、大気から海氷へのCO<sub>2</sub>吸収が制限された。これらの結果より、大気-海氷中ブライン間のpCO<sub>2</sub>差にだけでなく、海氷表面の特性も、大気-海氷間のCO<sub>2</sub>フラックスを決定する重要な要因の一つであることが示された。

## 学位論文審査の要旨

主査 教授 吉川 久幸  
副査 教授 乗木 新一郎  
副査 准教授 白澤 邦男  
副査 助教 豊田 威信  
副査 教授 服部 寛 (北海道東海大学大学院  
理工学研究科)

### 学位論文題名

## Effects of sea ice growth and melting on air-sea CO<sub>2</sub> flux

(海水の生成と融解が大気-海洋間の二酸化炭素交換量に及ぼす影響)

海水は気候システムにおいて重要な役割を果たしていることは、周知の事実であるが、物質循環の観点から見た場合、その役割はほとんど無視されてきた。本研究では、大気中二酸化炭素増加に係る炭素循環において、海水の役割を評価するために、大気-海洋間の二酸化炭素交換に関する実験を、本学低温科学研究所低温実験室において行っている。実験は、まず装置を組み立てることから始め、西部北太平洋において採取した海水を海水生成容器に入れ、海水生成容器内上部の空気中の二酸化炭素濃度測定を海水生成速度、海水内温度測定等と共に行っている。実験では、海水直上の空気中の二酸化炭素濃度が、海水の生成・成長と共に増加することが確認された。本研究では、増加の原因として海水中ブラインの塩分濃縮に伴う溶存無機炭素濃度の増加、二酸化炭素溶解度の減少、炭酸系の平衡が変化したことを考え、様々な考察を加えている。その結果、海水生成速度を変化させた場合には、ブラインの二酸化炭素分圧と直上空気中の二酸化炭素分圧差に交換量が比例することを見出し、交換量を支配する要因のひとつが二酸化炭素分圧差であることを報告した。同時に、ブライン塩分と交換量の関係から、ブラインチャンネルが大気と接する面積も要因のひとつに上げている。これらの結果を総合して、海水生成時に、海水が大気に対して二酸化炭素を放出するメカニズムを明らかにした。海水生成に伴う二酸化炭素の放出実験を定量的に行い、解析を行ったのは、本研究が世界で最初である。

海水の融解期においては、室内実験が困難であること、生物活動の影響が顕著であることから、サロマ湖において2006年2月から3月にかけて氷上観測を実施している。氷上観測では、チャンバー法による大気-海水間の二酸化

炭素交換量の測定、海氷ブライン及び海氷下海水の採取による炭酸系、栄養塩、酸素同位体、塩分などの測定を実施している。サロマ湖では、海氷融解期においてはブラインの二酸化炭素分圧は大気に比べて著しく低いことを報告し、海氷下の二酸化炭素分圧の低い河川水プルームの影響をブラインが受けていること、アイスアルジーに原因があることを指摘している。海氷融解期には、大気と海氷間に二酸化炭素交換が生じていない場合と海氷への吸収が生じている場合があることを見出し、ブラインチャンネルの大気への開放が交換に重要であることを議論している。これらの結果については、氷上観測を積み重ねることにより海氷が炭素循環に果たす役割をさらに解明することができると期待される。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。