

学位論文題名

The effect of bubbles on the air-sea gas exchange

(大気海洋間の気体交換における泡の効果)

学位論文内容の要旨

現在、大気海洋間の二酸化炭素の交換量を見積もるとき、大気海洋間の濃度差を観測し、これと表面膜モデルに基づいて風速から得た交換速度と掛け合わせて交換量を求め、全海洋、全季節について積分している。本研究はこの表面膜モデルに疑問を感じて始まった。

表面膜モデルは、Liss and Slater (1974)によって導入された。大気海洋界面に分子拡散層があって、その厚みが気体交換をコントロールしているとするものである。したがって、拡散速度の違いのみを考慮すれば、ある一つの分子種で得られた交換速度を別の分子種に適用できることになる。問題は、これらの交換速度が直接二酸化炭素について求めたものではなく、海水に難溶性の気体について求めているので、二酸化炭素など溶解度が大きく、交換平衡に時間のかかる成分には適用できないのではないかという点である。

そこで、本研究では直接二酸化炭素について交換速度を求めることにし、この結果と同時に酸素から求めた値と比較することにした。噴火湾に閉鎖系モデルを適用し、溶存酸素、全炭酸の2成分から大気海洋間の気体交換速度を見積もった。その結果、全炭酸から直接求めた二酸化炭素の交換速度は、溶存酸素から求めた二酸化炭素の交換速度よりも約1.4倍程度大きかった。このことから、気体交換は単に表面膜モデルにしたがって行われるのではなく、異なるメカニズムによる乱流層の不均一化が、平衡に達する時間差の異なる気体種間の中に交換の大きさの違いを出した結果であると推定された。乱流層の不均一化を引き起こす原因として、気体交換における気泡効果が考えらる。これをより直接的に確かめるべく、海水中の溶存 N_2, O_2, Ar を、GC法を用いて正確に測定し、2000年5月から6月にかけて北西部北太平洋航海 (MR00-K03) の11観測点で得た表層200 m、127組の海水に応用した。酸素について、Winkler 滴定法による測定値からの本測定値の差は、全測定値 ($n=127$) につき、標準偏差は $0.8 \mu\text{mol/kg}$ であった。

全測点について溶存 N_2, Ar は過飽和であった。特に表層30mにおける過飽和度は高く、 N_2 (ΔN_2)について2.7-4.3%、 Ar (ΔAr)について1.7-2.6%、その比 ($\Delta N_2/\Delta Ar$) は1.53-1.81であった。この過飽和が大気との溶解平衡後に水温上昇があった結果であるとしたなら、理論的に考えて、 $\Delta N_2/\Delta Ar$ 比はほぼ1になるはずであり、気泡の混入の結果によるものであるならば、

その比はほぼ 2 になるはずである。ことから、この過飽和は主に泡の効果によるものであると考えられた。海水中に溶け込んだ気泡の量を見積もったところ、表層 30m で最も多く平均で 0.41-18.4 $\mu\text{mol/kg}$ であった。さらに、 ΔN_2 、 ΔAr 及び $\Delta\text{N}_2/\Delta\text{Ar}$ 比は採水時前の 24 時間平均風速と良い正相関が見られた。風速が小さいほど過飽和度が小さくなるだけでなく、 $\Delta\text{N}_2/\Delta\text{Ar}$ 比は溶解平衡組成比に近づき、逆に風速が大きいほど比は空気組成に近づくことが示された。

学位論文審査の要旨

主査	教授	角	皆	静	男
副査	教授	乗	木	新	一郎
副査	助教授	田	中	教	幸
副査	助教授	渡	辺		豊
副査	助教授	谷	本	陽	一
副査	教授	蒲	生	俊	敬 (北海道大学大学院理学研究科)

学位論文題名

The effect of bubbles on the air-sea gas exchange

(大気海洋間の気体交換における泡の効果)

現在、大気海洋間の二酸化炭素の交換量を見積もるとき、大気海洋間の濃度差を観測し、これと表面膜モデルに基づいて風速から得た交換速度と掛け合わせて交換量を求め、全海洋、全季節について積分している。本研究はこの表面膜モデルに疑問を感じて始まった。

表面膜モデルは、Liss and Slater (1974)によって導入された。大気海洋界面に分子拡散層があって、その厚みが気体交換をコントロールしているとするものである。したがって、拡散速度の違いのみを考慮すれば、ある一つの分子種で得られた交換速度を別の分子種に適用できることになる。問題は、これらの交換速度が直接二酸化炭素について求めたものではなく、海水に難溶性の気体について求めているので、二酸化炭素など溶解度が大きく、交換平衡に時間のかかる成分には適用できないのではないかという点である。

そこで、本研究では直接二酸化炭素について交換速度を求めることにし、この結果と同時に酸素から求めた値と比較することにした。噴火湾に閉鎖系モデルを適用し、溶存酸素、全炭酸の2成分から大気海洋間の気体交換速度を見積もった。その結果、全炭酸から直接求めた二酸化炭素の交換速度は、溶存酸素から求めた二酸化炭素の交換速度よりも約1.4倍程度大きかった。このことから、気体交換は単に表面膜モデルにしたがって行われるのではなく、異なるメカニズムによる乱流層の不均一化が、平衡に達する時間差の異なる気体種間の中に交換の大きさの違いを出した結果であると推定された。乱流層の不均一化を引き起こす原因として、気体交換における気泡効果が考えらる。これをより直接的に確かめるべく、海水中の溶存 N_2 , O_2 , Ar を、GC法を用いて正確に測定し、2000

年5月から6月にかけて北西部北太平洋航海 (MR00-K03) の11観測点で得た表層200m、127組の海水に応用した。酸素について、Winkler 滴定法による測定値からの本測定値の差は、全測定値 (n=127) につき、標準偏差は $0.8\mu\text{mol/kg}$ であった。

全測点について溶存 N_2 , Ar は過飽和であった。特に表層30mにおける過飽和度は高く、 N_2 (ΔN_2) について2.7 - 4.3%、Ar (ΔAr) について1.7 - 2.6%、その比 ($\Delta\text{N}_2/\Delta\text{Ar}$) は1.53 - 1.81であった。この過飽和が大気との溶解平衡後に水温上昇があった結果であるとしたなら、理論的に考えて、 $\Delta\text{N}_2/\Delta\text{Ar}$ 比はほぼ1になるはずであり、気泡の混入の結果によるものであるならば、その比はほぼ2になるはずである。ことから、この過飽和は主に泡の効果によるものであると考えられた。海水中に溶け込んだ気泡の量を見積もったところ、表層30mで最も多く平均で $0.41\text{-}18.4\mu\text{mol/kg}$ であった。さらに、 ΔN_2 , ΔAr 及び $\Delta\text{N}_2/\Delta\text{Ar}$ 比は採水時前の24時間平均風速と良い正相関が見られた。風速が小さいほど過飽和度が小さくなるだけでなく、 $\Delta\text{N}_2/\Delta\text{Ar}$ 比は溶解平衡組成比に近づき、逆に風速が大きいほど比は空気組成に近づくことが示された。

審査員一同は以上の研究成果を高く評価し、また研究者として研鑽を重ねており、その研究に対する態度も誠実かつ熱心であること、取得単位を満たしたことを合わせ、申請者が博士 (地球環境科学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。