

学位論文題名

A study of seasonal change in partial pressure of carbon dioxide in the western North Pacific

(西部北太平洋における二酸化炭素分圧の季節変動に関する研究)

学位論文内容の要旨

日本列島が西部北太平洋の周縁部に位置する。日本近海は強いCO₂吸収海域となっているが、その季節変化や機構はまだよく分かっていない。西部北太平洋では二酸化炭素分圧(partial pressure of carbon dioxide: $p\text{CO}_2$)分布及び季節変動について、亜熱帯海域では、温度が $p\text{CO}_2$ に影響しており、亜寒帯海域では、生物、混合、温度が影響している。CO₂フラックスは大気と海洋間での二酸化炭素の分圧差とガス交換係数の積で求められる。西部北太平洋では冬に北風が強い、冬季季節風と呼ばれる現象が起こる。冬季季節風が海の二酸化炭素吸収にどのように影響するのかが注目する課題の一つである。そして、 $p\text{CO}_2$ の変動が水温の変動や溶存無機炭素濃度の変動に影響を受けるが、西部北太平洋海域ごと(亜熱帯海域、亜寒帯海域、混合水域など)の温度変動による $p\text{CO}_2$ の変動やDIC変動による $p\text{CO}_2$ の変動についてどちらの影響が強いのか、そしてそれらの影響の割合の見積もりはもう一つの注目課題である。本研究は、炭素循環を含めた3次元海洋大循環モデルを開発して、西部北太平洋に適用して、その計算結果から、冬季季節風によるCO₂フラックスへの影響や水温の変動、溶存無機炭素濃度の変動による $p\text{CO}_2$ への影響について解析した。

第1章では西部北太平洋におけるガス交換係数の季節変動による大気海洋間CO₂フラックスへの影響について調べていた。モデルは観測の $p\text{CO}_2$ の季節変動を再現していた。大気と海洋間での二酸化炭素の分圧差($\Delta p\text{CO}_2 = p\text{CO}_{2\text{sea}} - p\text{CO}_{2\text{air}}$)とCO₂フラックスの年平均分布は非常に似ていることが分かる。亜熱帯海域と亜寒帯海域の一部はCO₂を放出する海域であり、その他の海域が吸収する海域である。亜熱帯海域(亜寒帯海域の一部)で、 $\Delta p\text{CO}_2$ が高い(低い)にも関わらず、フラックス値が低い(高い)のは、ガス交換係数が小さい(高い)ことが原因と考えられる。しかしながら、混合水域における、 $\Delta p\text{CO}_2$ がマイナスの海域(40°N)では、ガス交換係数が高い値にもかかわらず、吸収は減少する。すなわち、亜寒帯海域におけるCO₂が放出される海域が拡大された。さらに $\Delta p\text{CO}_2$ 、CO₂フラックスの符号が逆符号になる海域が存在する。季節変動でCO₂分圧とガス交換係数が相関を持つことで、十分大きな「亜寒帯は放出源、亜熱帯は吸収源」に導く。すなわち、亜寒帯海域では、冬季、 $\Delta p\text{CO}_2 > 0$ 、ガス交換係数は大きい。夏季、 $\Delta p\text{CO}_2 < 0$ 、ガス交換係数は小さい。ガス交換係数の季節変動は冬季CO₂放出促進する効果で、夏季CO₂吸収弱める効果である。年間を通してみると、亜寒帯海域では、CO₂放出を促進する効果である。一方で、亜熱帯海域では、冬季、 $\Delta p\text{CO}_2 < 0$ 、ガス交換係数は大きい。そして夏季、 $\Delta p\text{CO}_2 > 0$ 、ガス交換係数は小

さい。ガス交換係数の季節変動は、冬季CO₂吸収促進する効果で、夏季CO₂放出弱める効果である。年間を通してみると、亜熱帯海域では、CO₂吸収を促進する効果である。これが年間CO₂フラックスに影響を及ぼし、 $\Delta p\text{CO}_2$ と符号が逆符号になる原因である。

第2章では西部北太平洋 $p\text{CO}_2$ 及び溶存無機炭素(dissolved inorganic carbon: DIC)変動要因について調べていた。 $p\text{CO}_2$ の季節変動について温度変化による $p\text{CO}_2$ の変動と溶存無機炭素濃度変化(生物・混合層など)による $p\text{CO}_2$ の変動に分けて考えた。温度一定(海面水温を年平均値設定)の場合、計算した $p\text{CO}_2$ の結果が溶存無機炭素濃度変化(生物・混合層など)による $p\text{CO}_2$ の変動効果分かる、一方で、溶存無機炭素濃度とアルカリ度一定(DIC、Alkalinity年平均値設定)の場合、計算した結果が温度による $p\text{CO}_2$ の変動効果分かる。実験はそれぞれ夏季(7月、8月、9月)、冬季(1月、2月、3月)の平均を計算し、その差分、すなわち、夏季と冬季間の $p\text{CO}_2$ 振幅について検討した。亜熱帯海域では温度効果が大きい。亜寒帯海域では生物などの効果が大きい、温度効果も大きいため、相対的に生物などの効果はやや小さくなることが分かった。さらに、海洋表層におけるDIC濃度の変動要因について、生物活動によるDIC濃度変動、大気・海洋間ガス交換によるDIC濃度変動、その他の物理プロセスによるDIC濃度変動に分けて分析した。海洋表層を研究対象としているが、大気・海洋間ガス交換によるDIC濃度変動だけは混合層の平均で求めた。亜熱帯・亜寒帯海域両方とも、春季、生物活動によるDIC濃度の変動効果は大きい。ほかの時期については、その他の物理プロセス(移流・混合)によるDIC濃度変動効果が大きい。大気・海洋間CO₂ガス交換はいずれの海域においてもDIC濃度変動における影響は弱い。亜熱帯海域、夏から秋にかけて生物生産やガス交換が弱い時期に、DIC濃度の変動は水平移流によるDIC濃度の変動である。

本研究は日本近海のCO₂の吸収量の将来見積りなどに貢献し、人間活動に伴うCO₂排出量による大気中CO₂濃度の将来予測に役立つ。

学位論文審査の要旨

| | | | |
|----|-------|----|--------------|
| 主査 | 教授 | 山中 | 康裕 |
| 副査 | 教授 | 吉川 | 久幸 |
| 副査 | 准教授 | 藤井 | 賢彦 |
| 副査 | グループ長 | 小埜 | 恒夫 (中央水産研究所) |

学位論文題名

A study of seasonal change in partial pressure of carbon dioxide in the western North Pacific

(西部北太平洋における二酸化炭素分圧の季節変動に関する研究)

日本列島が太平洋の北西周縁部に位置する。日本近海は強いCO₂吸収海域となっているが、その季節変化や機構はまだよく分かっていない。CO₂フラックスは大気と海洋間での二酸化炭素の分圧差とガス交換係数の積で求められる。西部北太平洋亜熱帯海域では温度が海洋二酸化炭素分圧(partial pressure of carbon dioxide: $p\text{CO}_2$)を影響しており、亜寒帯海域では、生物、混合、温度が影響している。西部北太平洋では冬に北風が強い、冬季季節風と呼ばれる現象が起こる。冬季季節風が海の二酸化炭素吸収にどのように影響するのかが注目すべき課題である。 $p\text{CO}_2$ の変動が水温の変動や溶存無機炭素(dissolved inorganic carbon: DIC)濃度の変動に影響を受けるが、西部北太平洋海域ごと、温度変動による $p\text{CO}_2$ への影響やDIC濃度変動による $p\text{CO}_2$ への影響がどのようなものであるかも注目すべき課題である。本研究は、炭素循環を含めた3次元海洋大循環モデルを開発し、西部北太平洋に適用して、冬季季節風によるCO₂フラックスへの影響や水温の変動やDIC濃度の変動による $p\text{CO}_2$ への影響について解析を行った。

西部北太平洋における、海洋表層年平均大気と海洋間での二酸化炭素の分圧差 $\Delta p\text{CO}_2$ 分布とCO₂フラックスの分布は似ていることものの、混合水域における、 $\Delta p\text{CO}_2$ がマイナスの海域(40°N)では、ガス交換係数が高い値にもかかわらず、吸収は減少する。さらに $\Delta p\text{CO}_2$ 、CO₂フラックスの符号が逆符号になる海域が存在することが分かった。季節変動でCO₂分圧とガス交換係数が相関を持つことで、この関係が「亜寒帯は放出源、亜熱帯は吸収源」に導くことにより、年間CO₂フラックスに影響を及ぼし、 $\Delta p\text{CO}_2$ と符号が逆符号になるためである。

また、西部北太平洋における、 $p\text{CO}_2$ の季節変動について温度変化による $p\text{CO}_2$ の変動(温度効果)と溶存無機炭素濃度変化による $p\text{CO}_2$ の変動(生物などの効果)について考察した。亜熱帯海域では温度効果が大きいことは今までも指摘されていたが、亜寒帯海域でも生物などの効果に加えて、温度効果も大きいことが分かった。DIC濃度の変動要因は生物活動、大気海洋間ガス交換、その他の物理プロセスに分けて分析した。亜熱帯・亜寒帯海域両方とも、春季生物活動によるDIC濃度変動が一番大きく、ガス交換いずれの海域においてもDIC濃度変動における影響は弱い。亜熱帯海域、夏から秋にかけて生物生産やガス交換が弱い時期に、DIC濃度の変動は水平移流によることが分かった。本研究をさらに発展することで、日本近海のCO₂の吸収量の将来見積りなどに貢

献し、人間活動に伴うCO₂排出量による大気中CO₂濃度の将来予測等に役立つことが期待される。

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。