

論文内容の要旨

論文題目「Reconstruction of global carbon cycle during the Quaternary using
a vertical one-dimensional marine carbon cycle model」

[鉛直 1 次元海洋物質循環モデルを用いた第四紀の炭素循環の復元]

氏名 池田 敬

第四紀の地球環境変動は氷期・間氷期サイクルと呼ばれる数万年～十万年スケールの周期的変動によって特徴付けられる。この時間スケールにおいては気候変動と大気 CO₂ 濃度が良い相関を示すことが知られており、炭素循環が気候変動において重要な役割を果たしていたことが示唆される。この時間スケールは海洋における炭素や栄養塩の滞在時間と同程度であり、海洋の化学組成変動が地球表層環境変動に同調していることが期待される。第四紀の古海洋環境の記録は、海洋底コアの掘削によって連続時系列的に得ることができる。しかしながら炭素や栄養塩などの海水中濃度自体は直接知ることはできず、海水中の炭素同位体比記録を元にこれらの古海洋環境を推定するという間接的手法が良く用いられている。しかしながら、この時間スケールにおける炭素同位体比と炭素循環の関係は明白ではなく、海洋の化学組成を連続時系列的に理解する試みはまだ行われていない。

第四紀の氷期・間氷期サイクルに伴う海水中の炭素同位体比変動は、浮遊性および底性有孔虫殻の分析によって海洋表層および深層のそれぞれについて知ることができる。両者は共に、氷期に同位体比が軽く、間氷期や亜間氷期に重くなるという特徴を示すことが広く知られている。一方、閉鎖海盆の掘削、海山の掘削、潜水性の浮遊性有孔虫分析などから得られた海洋中層部の炭素同位体比記録は表層や深層と異なり、氷期に重い同位体比を示す。このことは、海洋中層部の化学組成変動は表層とも深層とも異なる応答を示すことを示唆しており、海洋の化学組成変動を解析するためには、最低でも時間方向と鉛直方向の 2 次元的理解が必要なことを示している。本研究では、全炭酸・炭素同位体・栄養塩およびアルカリ度の物質循環を扱う鉛直 1 次元海洋炭素循環モデル(図 1)を開発し、時系列的解析を行う。はじめに炭素循環の時系列的变化に対する海洋の化学組成と炭素同位体比の応答を検討し、次に実際の炭素同位体比記録を用いて第四紀の古海洋環境の復元を行うと共に結果の妥当性の検証を行う。

海洋混合層における栄養塩濃度を近似的にゼロと仮定すると、任意の深度における海水中の $\delta^{13}\text{C}$ と表層の $\delta^{13}\text{C}$ との差は海水中の栄養塩濃度に比例することを解析的に示すことができる。海水中の栄養塩は、海洋表層における有機物の生産と海洋深層における溶解および湧昇によるリサイクル(有機物サイクル)によってもたらされる。モデル中で有機物サイクルの強度を周期的に変動させて海洋中層および深層の栄養塩濃度変化を調べると、中層と深層では逆位相で応答する。表層の $\delta^{13}\text{C}$ が一定であれば海洋

中層と深層の $\delta^{13}\text{C}$ 変動は逆位相の変動を示す。一方、海洋表層の $\delta^{13}\text{C}$ は栄養塩濃度ゼロに相当する $\delta^{13}\text{C}$ であり、その変動要因は大気海洋系外部から流入する栄養塩と ^{13}C の比の変化である。現実には、陸上生物圏サイズの変動、シリケートの風化率変動、および混合層における栄養塩余剰などが考えられる。しかしながら第四紀の表層水 $\delta^{13}\text{C}$ の変動幅(約 0.6%)を説明し得るのは陸上生物圏変動のみであり、陸上生物圏サイズの変動が第一義的に重要であると考えられる。

次に、実際に海底コアから得られた海洋表層と深層の $\delta^{13}\text{C}$ 記録をモデルの境界条件として、過去 30 万年間の有機物サイクル、炭酸塩サイクル、陸上生物圏変動、および海洋化学組成変動の時系列的復元を行った。得られた陸上生物圏変動は従来の研究結果と整合的であり、氷期に現在よりも縮小していたことが示される。有機物サイクルおよび炭酸塩サイクルは氷期に弱くなり間氷期に強くなる周期的変動を示し、それに伴って海水中の栄養塩濃度は氷期中層で減少し深層で増加する。このことは、表層の $\delta^{13}\text{C}$ との差から示唆される結果と整合的である。モデルにより復元された様々な深度での $\delta^{13}\text{C}$ 変動は観測事実と整合的であり、海洋中層においては氷期に $\delta^{13}\text{C}$ が重くなる特徴が再現された。従来、海洋中層の $\delta^{13}\text{C}$ 変動は、表層水や深層水とは異なる起源の水塊の貫入によってそれぞれ地域的なものとして解釈されていたが、海洋中層の $\delta^{13}\text{C}$ 変動のパターンは全球的なものであり、有機物サイクルの変動に伴う海洋の必然的な応答であると考えられることができる。

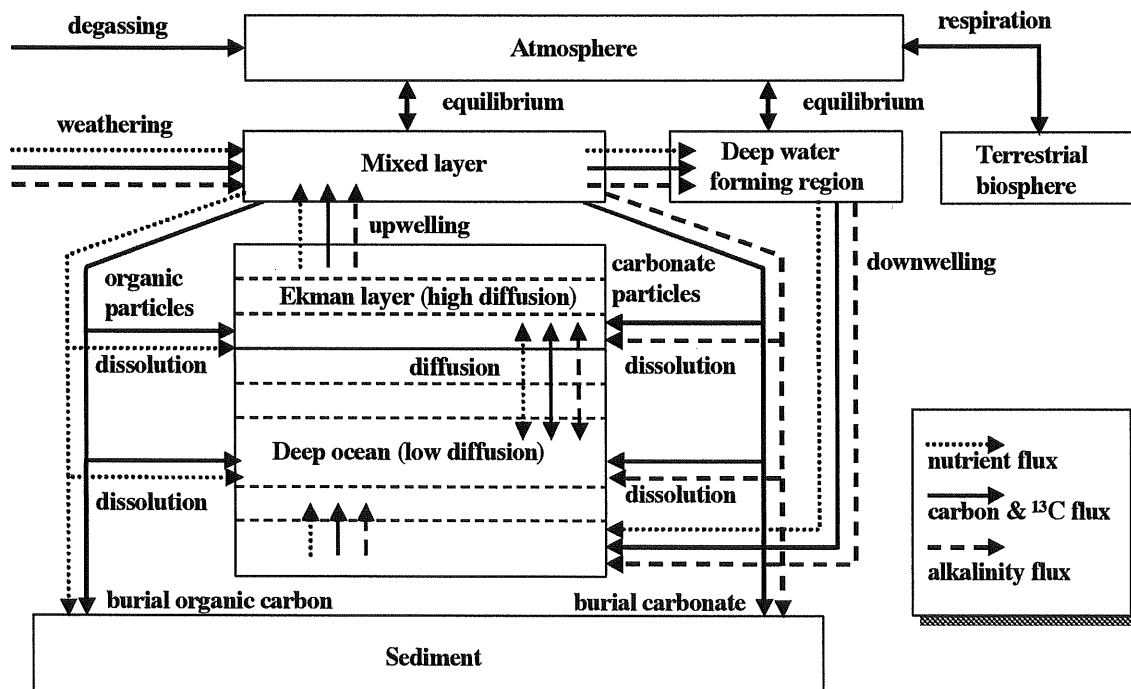


図 1 本研究で用いる炭素循環モデル