

「地球変動のメカニズム」  
平成9年度採択研究代表者

野尻 幸宏

(国立環境研究所 総合研究官)

## 「研究課題名 北西太平洋の海洋生物化学過程の時系列観測」

### 1. 研究実施の概要

高緯度海域でのCO<sub>2</sub>吸収・放出の規定要因を明らかにするためには、海水中の炭酸系を精密に測定しつつ、生物生産量と関連する環境要因を解析する必要があるが、「定点時系列観測」はその有力な観測手法である。本課題では、観測船による時系列観測で得られる化学成分の鉛直プロファイルと生物関連データから、季節的に変動するCO<sub>2</sub>吸収・放出と物質循環現象を把握する観測と解析を行った。定点は、西部亜寒帯太平洋に位置する点(北緯44°東経155°、KNOT: Kyodo North pacific Ocean Time series)とし、1998-2000年の期間に27回の本格観測を行った。

KNOT定点では、表層海水の全炭酸濃度には、秋から冬に増大し、春から夏に減少する明瞭な季節性と大きな季節振幅が見られた。大きな全炭酸の濃度変化は春から夏の生物生産で生じるので、この期間の大きな炭素輸送量を示す。一方、表層水のpCO<sub>2</sub>は、秋に最低となり大気に対して-40μatm、春に最大となり大気に対して+20μatmであった。夏には生物による無機炭酸の利用が続くが水温上昇がpCO<sub>2</sub>上昇をうち消すので、表層水中のpCO<sub>2</sub>は高まらなかった。冷却期である秋にpCO<sub>2</sub>が最も低くなり、風速が高まる作用もあって主たるCO<sub>2</sub>吸収が起こることが確認された。

定点KNOTでの植物プランクトン量を表わすクロロフィルa濃度は0.4 - 0.5 μg/Lであり、5月から6月上旬や10月に1 - 2μg/Lまで高まることがあった。5月から6月の時期の現存量は他の時期より多く、その他の時期は比較的一定で、冬季に減少しないことが特徴的であった。植物プランクトンの一次生産速度は、5月には518mgC/m<sup>2</sup>/dayであったが、6 - 8月は216mgC/m<sup>2</sup>/day、10 - 11月は170mgC/m<sup>2</sup>/dayに低下した。真冬は最も低く44mgC/m<sup>2</sup>/dayであった。データに基づく年間平均値は89gC/m<sup>2</sup>/yであった。従来報告値が存在しなかった冬季データを含む周年変動が明らかになり、冬季の値が極めて低いことが新しい知見であった。

ケイ素循環を拡充した海洋生物化学モデルをKNOTの現象の再現に応用した。15コンパートメント海洋生物化学モデルを鉛直次元混合層モデルに結合させた。

KNOTにおける温度・塩分観測値を用いて物理場を駆動した。物質の分布は、光環境に高い感度を示したが、春先のケイ藻ブルーム、表層の栄養塩（硝酸・ケイ酸）の夏季の極小、冬季の鉛直混合による栄養塩の高まり、冬季の高いクロロフィル a カラム濃度と低い一次生産速度などを、ほぼ再現できる結果を得た。

3年間のCRESTプロジェクトによる観測で、西部亜寒帯太平洋の定点KNOTにおける炭素循環とその支配要因である生物現象に関するかなり膨大な観測データを得た。この3年のデータ蓄積で、物質循環に関する基本的周年サイクルが明らかになった。

## 2. 研究実施内容

高緯度海域でのCO<sub>2</sub>の交換（吸収・放出）は、鉛直混合と表層で起きる生物生産の両者に支配される。CO<sub>2</sub>吸収・放出の規定要因を明らかにするためには、海水中の炭酸系を精密に測定しつつ、生物生産量と関連する環境要因を解析する必要があるが、「定点時系列観測」はその有力な観測手法である。本課題では、観測船による時系列観測で得られる化学成分の鉛直プロファイルと生物関連データを解析することによって、季節的に変動するCO<sub>2</sub>吸収・放出と物質循環現象を把握することを目指して観測を行った。北太平洋では、東部亜寒帯海域のアラスカ湾と亜熱帯海域のハワイの2点で時系列物質循環観測が継続されており、本研究では、観測が実施されていなかった西部亜寒帯太平洋で定点観測を行った（定点KNOT：北緯44° 東経155°、Kyodo North pacific Ocean Time series）。太平洋東/西、亜寒帯/亜熱帯の海洋物質循環の比較を行うことから、太平洋全域の物質循環理解につながる結果を得た。

### (1) 定点時系列観測

集中観測年の最後である2000年は1 - 2月に「みらい」による初の厳冬季観測を行い、その後7回の観測を行った。短い場合1昼夜、長い場合は4日の定点保持を行い、その間に表層から深層までの採水、漂流系での沈降粒子捕集実験、培養による植物プランクトン生産量の測定、長期係留系の設置回収、プランクトン試料採取、海水の光学特性測定など、多くの項目の観測を行った。

### (2) CO<sub>2</sub>分圧と水中の溶存無機炭素

KNOT定点では、表層海水の全炭酸濃度には、秋から冬に増大し、春から夏に減少する明瞭な季節性が見られた。表層海水における全炭酸とアルカリ度の変動について、黒潮影響のない結果を抽出すると、全炭酸の冬と夏の値の間に、約100 μmol/kgの濃度差があった。これは、定点観測点で全炭酸が継続測定されているBATS、HOTのデータと比較して（それぞれ40 - 50および<20 μmol/kg）極めて大きい。このような大きな全炭酸の濃度変化は、春から夏の生物生産で生じるので、この期間の大きな炭素輸送量（export production）を物語る。また、この間

のアルカリ度の変化は、炭酸カルシウム殻の生成に由来するものではなく、硝酸濃度の季節変化によるものと考えられ、炭酸系の季節変化に対する炭酸カルシウム殻生成種の影響が小さいことを示している。

春から夏の水温成層期は、風速が低くガス交換量が小さいので、全炭酸量の変化から炭素輸送量が見積もられる。その結果によると、1998年6 - 8月の70日間、1999年5 - 8月の84日間の新生産量は330と270mgC/m<sup>2</sup>/dayであった。また、7 - 8月と比較して5 - 6月の期間は2倍ほど大きな生産量が見込まれた。

一方、表層水のpCO<sub>2</sub>は、秋に最低となり大気に対して - 40μatm、春に最大となり大気に対して + 20μatmであった。夏には生物による無機炭酸の利用が続くが水温上昇がpCO<sub>2</sub>上昇をうち消すので、表層水中のpCO<sub>2</sub>は高まらない。冷却期である秋にpCO<sub>2</sub>が最も低くなり、風速が高まる作用もあって主たるCO<sub>2</sub>吸収が起こる。

### (3) 生物量と生物生産

定点KNOTでのクロロフィルa量は0.4 - 0.5μg/Lであり、5月から6月上旬や10月に1 - 2μg/Lまで高まることがあった。5月から6月の時期の現存量は他の時期より多く、その他の時期は比較的一定で、冬季に減少しないことが特徴的である。定点KNOTは北海道沿岸域や千島列島沿いに見られる春のブルーミングが明瞭に見られる海域より外洋的であることがわかる。KNOT定点では<sup>13</sup>C法による一次生産速度測定を行った。一次生産速度は5月には518mgC/m<sup>2</sup>/dayであったが、6 - 8月は216mgC/m<sup>2</sup>/day、10 - 11月は170mgC/m<sup>2</sup>/dayに低下した。真冬は最も低く44mgC/m<sup>2</sup>/dayであった。これまでに得られているデータに基づく年間平均値は89gC/m<sup>2</sup>/yである。この一次生産速度は生物生産がより小さいと考えられるP点と比較して、やや低い値であった。

### (4) 生態系モデル

海洋物質循環をモデルで扱うには、生態系の表現が必要である。これまでは、植物プランクトンを簡略化して一つのコンパートメントとして扱い、窒素（硝酸とアンモニア）が植物の生産の制限栄養素であるモデルが普通であった。しかし、西部亜寒帯太平洋では、ケイ藻が植物プランクトン優先種であり、ケイ素循環の考慮が必要と考えられ、この点を拡充した海洋化学生物モデルをKNOTの現象の再現に応用した。

2種の植物プランクトン・3種の動物プランクトンおよび硝酸・アンモニア・ケイ酸・全炭酸・アルカリ度などからなる15コンパートメント海洋生物化学モデルを鉛直一次元混合層モデルに結合させた。時系列観測で得られたKNOTにおける温度・塩分を用いて物理場を駆動した。モデルにより再現される物質の分布が観測値をできるだけよく表現するように、モデル中の動植物プランクトン、微

生物活性、粒子の沈降などに関するパラメータの値を調整した。

物質の分布は、光環境に高い感度を示したが、春先のケイ藻ブルーム、表層の栄養塩（硝酸・ケイ酸）の夏季の極小、冬季の鉛直混合による栄養塩の高まり、冬季の高いクロロフィル *a* カラム濃度と低い一次生産速度などを、ほぼ再現できる結果を得た。

(5) 今後に向けて

3年間のCRESTプロジェクトによる観測で、西部亜寒帯太平洋の定点KNOTにおける炭素循環とその支配要因である生物現象に関するかなり膨大な観測データを得た。これらは、全球の物質循環モデルのパラメータ化に必ず貢献できるデータであると確信しつつ、観測データの確定作業とその解析を進めている。国際的な研究計画会議でも、この定点観測は高く評価されており、そのデータの国際的流通を強く要請されている。CREST研究チームでは、そのデータ公開と結果の解析を今後の中心課題として臨む。この3年のデータ蓄積で、基本的周年サイクルが明らかになったことは、今後のプロセス研究にとって、はるかに有利な研究の場を提供したことになる。このことは、やや低頻度の定点観測であっても、炭素循環研究にとって有益なプロセス研究ができることを意味する。今後、我が国の海洋研究として、定点観測研究の維持を強く望むものである。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

野尻幸宏、時系列観測から解析する海洋物質循環と生物生産、月刊海洋号外、25、96-101（2001）

N.Tsurushima, Y.Nojiri, K.Imai, and S.Watanabe, Seasonal variations of carbon dioxide species in the sub-arctic western North Pacific, Deep Sea Research, JGOFS North Pacific Process Study特集号投稿済み

K.Imai, Y.Nojiri, N.Tsurushima, and T.Saino, Seasonal variation of primary productivity at station KNOT in the sub-arctic western North Pacific, Deep Sea Research, JGOFS North Pacific Process Study特集号投稿済み

その他同特集号に本研究課題研究成果論文計7編投稿済み