

「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)

## 「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

本研究は、国際共同研究であるJGOFS (Joint Global Ocean Flux Study) の枠組みの中で、北西太平洋高緯度海域の定点時系列観測を行う。北太平洋では、亜寒帯海域のアラスカ湾と亜熱帯海域のハワイで時系列物質循環観測が継続されているが、本研究課題で北緯44°、東経155°に定めた亜寒帯北西太平洋定点 (KNOT: Kyodo North Pacific Ocean Time series) の観測を開始することで、太平洋全域の観測網として充実される。海洋物質循環の東西太平洋比較、亜寒帯・亜熱帯比較を行い、太平洋全域の物質循環理解を助ける結果を得ることを目的とする。北西太平洋亜寒帯域では、CO<sub>2</sub>の吸収・放出に大きな季節変化があり、春から夏に植物生産によって有機炭素の固定と鉛直輸送が起こり、冬には鉛直混合によって亜表層からのCO<sub>2</sub>の回帰と放出が起こる。これは、日本とカナダの共同による貨物船観測で確かめられた。この機構の詳細な解明には、表層に限られる商船による観測では不十分で、鉛直構造を計測できる研究船観測が必要である。特に一定点での季節変化の観測は、その支配要因解明の有力な手法である。

本研究では、国内研究機関所属研究船の北西太平洋高緯度海域航海の協力を得て、定点において質の揃った化学・生物観測を行い、時系列的にデータを集めて解析する。北海道大学「北星丸」、東海大学「望星丸」、海洋科学技術センター「みらい」などの参加で、1998年6月から2000年2月にかけて18回の本格観測を行った。

その結果、現場での培養法による夏季から秋季の生物生産量 (一次生産量) は、東部亜寒帯太平洋と比較して大きなものではなかった。一方、全炭酸の変化からは炭素輸送量が求められるが、東部太平洋の2倍ほどに大きいことがわかった。一般的に炭素輸送量の1次生産量に対する比率は熱帯海域では小さく、湧昇域や高緯度海域で高いのであるが、KNOT点を含む西部北太平洋では炭素の鉛直輸送比率が非常に高いことが示唆された。このことは、西部北太平洋ではケイ藻類を主体とする植物の生産が起こることに関連していると考えられる。

1999年は5月の「みらい」による観測航海において、定点の近傍で春のプランクトンブルームに遭遇し、極めて大きな生産量が観測された。このことから、西部北

太平洋において、春から夏にかけてエピソード的に起こる生産現象が物質循環を支配していることが明らかになった。このことが、定点来訪時にしか培養測定できない一次生産量からは、海域の生産の大きさを推定することが難しいことが示唆された。一方、炭酸の変化から求められる炭素輸送量は期間の積算値であるので、エピソード的な現象を含んでいる。このような現象のダイナミクスを規定する要因の解明を、データの解析と生物化学モデル展開から進める。

## 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正確に把握することを目指して観測を開始した。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、JGOFSのもとで時系列物質循環観測が継続されているので、本研究では北緯44°東経155°の西部亜寒帯太平洋定点（KNOT: Kyodo North Pacific Ocean Time series）で観測を開始した。国際共同研究として、太平洋東/西、亜寒帯/亜熱帯の海洋物質循環比較を行うことで、太平洋全域の物質循環理解を助ける結果が得られる。

### (1) 定点時系列観測

1998年は6月から12月にかけて8回の本格的観測を行った。1999年は海洋科学技術センター「みらい」により5月に2回、北海道大学「北星丸」により6月に2回、7・8月に各1回、東京大学「白鳳丸」により6・8月各1回、東海大学「望星丸」により10月に2回の計10回の本格的観測を行った。また、2000年に入り「みらい」によって1・2月に各1回の冬季観測を行うことができた。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。

このうち、炭酸系（全炭酸、アルカリ度、CO<sub>2</sub>分圧）、栄養塩、溶存酸素、植物プランクトンの一次生産量は、本プロジェクト担当者で厳密に精度管理した船上測定を行った。

### (2) 炭酸系の観測

KNOT定点では、冬から春に表層海水の全炭酸濃度が最大となり、春から夏の生物生産で減少する明瞭な季節性が見られる。図1に表層混合層の全炭酸とアル

カリ度の濃度変化を示した。KNOT定点は、亜寒帯フロントの南の縁に位置するので、表層海水は33.2より低塩分であることが多いが、親潮黒潮混合域の海水の北上が見られると、黒潮海水の影響を受けた高塩分・低栄養塩の表層海水に覆われることがある。1998年の時系列では6月下旬の1回がそれであったが、1999年は5月中旬、6月上旬、7月下旬と3回の観測時に、黒潮の影響のある表面水が見られた。黒潮影響があると、全炭酸・アルカリ度とも親潮水より低くなるので、時系列解析には、低塩分時のデータを除外しなくては、合理的な濃度変化を抽出することができない。

結果によると、定点KNOTでは冬の最大値と夏の最小値の間に約100  $\mu\text{mol/kg}$ の濃度差があった。これは、定点観測点で全炭酸データが測定されているバミューダのBATS点、ハワイのHOT点がそれぞれ40-50および $<20 \mu\text{mol/kg}$ であるのと比べて極めて大きい。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、KNOT点でのこの期間の大きな炭素輸送量 ( export production ) あるいは新生産量 ( new production ) を物語る。高塩分の時のデータを除くと1998年と1999年には大きな振幅の違いは見られない。2000年2月に最大値を記録したが、このときは混合層が100mの塩分躍層に達した直後であり、その後の混合の進行で、春の最大値はさらに高くなるものと考えられる。春から夏の時期は水温成層していることと風速が低くガス交換量が小さいことから、全炭酸量の変化から炭素輸送量を見積もることができる。その結果によると1998年6 - 8月の70日間、1999年5 - 8月の84日間の新生産量はそれぞれ330と270 $\text{mgC/m}^2/\text{day}$ であった。また、7 - 8月と比較して5 - 6月の期間は2倍ほど大きな新生産量が見込まれた。

一方、 $\text{pCO}_2$ は航海間の変動が大きく、2年の時系列では確定的な季節変化は得られなかった。ただし、商船の観測によって推定されている変化と矛盾しないデータが得られた。すなわち、 $\text{pCO}_2$ の季節変化は秋に最小となり大気に対して約40  $\mu\text{atm}$ の低下、春に最大となり大気に対して約20  $\mu\text{atm}$ の上昇である。このことは、海域の $\text{CO}_2$ 吸収が主として秋に起こることを意味している。すなわち、春から夏の生物生産で表層海水の全炭酸が低下して行くが、夏は気体ガス交換が小さく大気からの $\text{CO}_2$ 吸収量は大きくなる。しかし、夏に水温が上昇しても生物による無機炭酸の利用が続き、水中の $\text{pCO}_2$ は高まらない。このことが秋の $\text{pCO}_2$ を低く保つので、主たる $\text{CO}_2$ 吸収がその時期の起こる。秋の終わりから冬になると、鉛直混合のために表層水と全炭酸濃度の高い亜表層水が混合するので $\text{pCO}_2$ が高まる。

### (3) 生物生産の観測

定点KNOTでのクロロフィル a 量は0.4-0.5 $\text{mg/L}$ であり、5月から6月上旬や10月に一時的に1-2 $\text{mg/L}$ まで高まることもある。冬季も大きく減少することはない。

このことから、定点KNOTは北海道沿岸域や千島列島沿いに見られる大きな生産の海域よりは外洋的である。定点では1998年に6回、1999年に10回の<sup>13</sup>C法による一次生産量測定を行った。KNOT定点での一次生産量は5月には500mgC/m<sup>2</sup>/dayであり、6 - 8月は160-290mgC/m<sup>2</sup>/day、10 - 12月は160-110mgC/m<sup>2</sup>/dayに低下した。測定された一次生産量はより生物生産の小さいと考えられるハワイのHOTやアラスカ湾のSt. Pと比較してもやや低い値であった。これは、KNOTでは一次生産の高い深度がほぼ20mまでであり、それ以深では生産量が急激に減少する。また、KNOT点での一次生産測定ではエピソード的な植物プランクトン量増大時を捕らえられなかった。

全炭酸の変化から得られる新生産は、期間の積算値であるので、この大きな新生産と比較的小さな一次生産を説明するには、春から夏にかけてエピソード的生産が支配的であると考えざるを得ない。定点KNOTそのもので強いブルームが見られた航海はなかったが、1999年5月の「みらい」航海ではKNOT北東の44.67度、東経155.85度で表層のクロロフィル極大が13.0 mg/Lのブルームを確認し、その点での一次生産は1700mgC/m<sup>2</sup>/dayであった。

これらのことから、定点KNOTでの生物生産は、春から夏にかけてケイ藻を主体とする効率的に沈降する植物がエピソード的に増減して進むという、仮説が提唱できる。おそらく、春から夏にかけてこの海域の植物プランクトン量はダイナミックに増減し、空間的にも不均一に変動する。そのため、6 - 7月の一次生産量からは説明が困難な量の新生産、すなわち、炭素輸送が起こる。この仮説を確かめるためには、エピソード的植物量の増減、海域の不均一性を衛星データや貨物船観測から確認する、既に行われた表層沈降粒子捕集実験結果の解析を進める、観測航海で海域の不均一な現象の程度を確認する、などの研究を進める。集中的観測は2000年夏で終了するので、観測データの解析とモデル化の研究が今後の課題である。

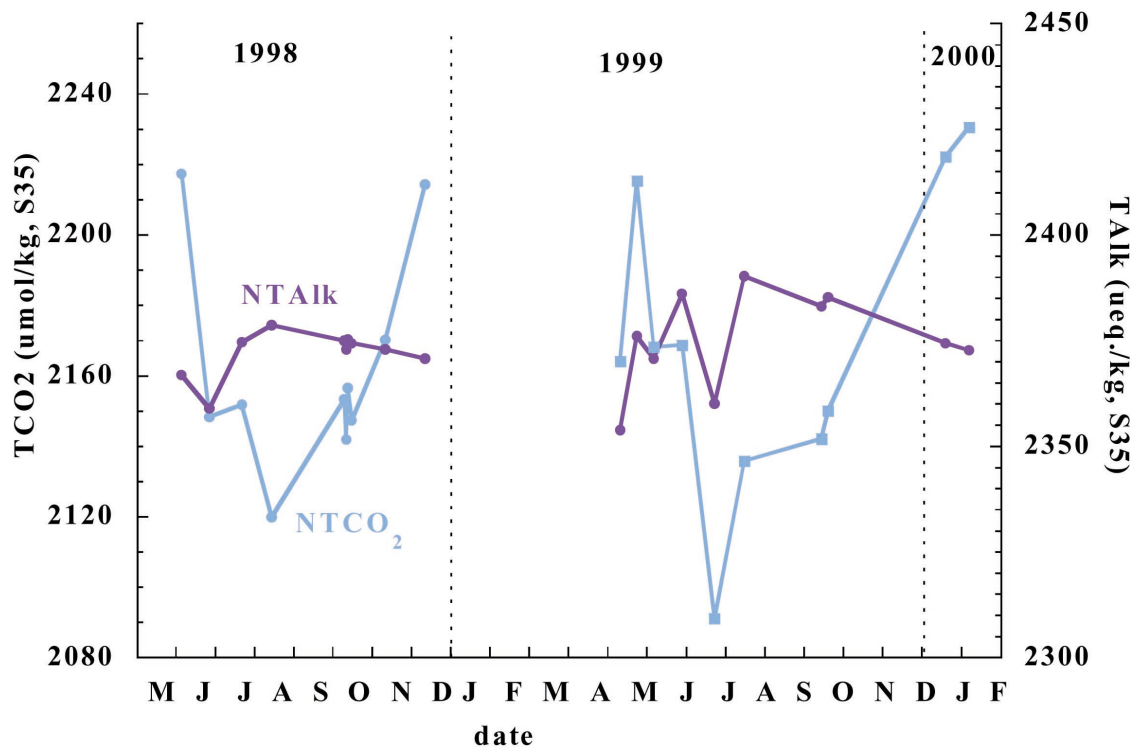


図1 定点KNOTにおける時系列観測で得た表層混合層中の全炭酸、アルカリ度の季節変化（塩分35に規格化してある。高塩分水が観測されるとアルカリ度が低いことで識別できるが、その点を除いて親潮水の季節変化を見ると、年間振幅が約100  $\mu\text{mol/kg}$ であることがわかる。）

### 3. 主な研究成果の発表（論文発表）

無し