

氏名	こう かい 江 凱
学位の種類	博士 (理学)
学位記番号	富理工博甲第 153 号
学位授与年月日	平成 30 年 3 月 31 日
専攻名	地球生命環境科学専攻
学位授与の要件	富山大学学位規則第 3 条第 3 項該当
学位論文題目	Study of biogeochemical processes at ocean interfaces: using multiple tracers to analyze coccolithophorid blooms in the Bering Sea shelf and asphalt seep in the Brazilian margin (海洋境界における生物地球化学的プロセスの研究：化学 トレーサーによるベーリング陸棚の円石藻ブルーミング 発生の要因とブラジル沖のアスファルト湧出の解明)
論文審査委員 (委員長)	丸茂 克美 張 勁 堀川 恵司 成田 尚史

学位論文の要旨

学位論文題目: Study of biogeochemical processes at ocean interfaces: using multiple tracers to analyze coccolithophorid blooms in the Bering Sea shelf and asphalt seep in the Brazilian margin

(海洋境界における生物地球化学的プロセスの研究: 化学トレーサーによるベーリング陸棚の円石藻ブルーミング発生の要因とブラジル沖のアスファルト湧出の解明)

地球生命環境科学専攻

氏名: 江凱 (Jiang Kai)

ABSTRACT

Research was conducted on the biogeochemical processes at ocean interfaces. Ocean interfaces are the most active areas in the oceans where many biogeochemical processes and environmental problems occur there. It includes four interfaces: continental-ocean, atmosphere-ocean, sediments-ocean and ocean crust-ocean. In this study, Bering Sea shelf was chosen as representative to study the biogeochemical processes occur at continental runoff-ocean and atmosphere-ocean interfaces. Where asphalt seep discovered in the Brazilian margin was chosen to study biogeochemical processes occurred at sediment-ocean and ocean crust-ocean interfaces.

It aimed to develop a basic method which can be used to figure out various factors of biogeochemical processes and environment changes in the ocean interfaces by using multiple tracers. In the western Arctic shelves, we have conducted a series of long-term field observation in the Bering Sea shelf in the summer and autumn from 2000 to 2013 during the scientific cruises of R/V Mirai (in September 2000, 2001, 2004, 2006 and

2012) and of T/S Oshoro-Maru (in July 2002, 2003, 2004, 2005, 2013). In the Brazilian margin, we originally conducted a series of deep-sea dives using the manned research submersible SHINKAI 6500 in May 2013. Sea water samples and sediment samples were taken back to the laboratory on land. Sea water samples can provide the real-time information of environment condition while sediment samples can offered historical information that environment events happened in the past. The parameters used in this study include CTD data, DO, nutrients, rare earth elements (REEs), oxygen isotope, carbon and nitrogen isotope, bacterial communities.

The technique process of this method basically includes the following four parts. First, roughly clarify the various water sources of the research area by hydrologic data (Temperature, salinity, DO). Second, calculate the precision water structure by REEs, salinity and $\delta^{18}\text{O}$. Third, calculate the related chemicals fraction from the different water sources. Fourth, analysis the changes of water mass structure and related chemicals in different seasons or years. Finally, analysis the factors of environment problems and predict its future potential changes combined other tracers, such as nutrients, phytoplankton data and so on.

In the eastern Bering Sea shelf, diatoms were dominant species in the fall bloom. However, coccolithophorid blooms were frequently observed in this area after 1997. It was thought that the changes of water mass structure was possible reason of coccolithophorid blooms. To clarify the relationship between the coccolithophorid blooms and water mass composition, we present CTD, Chl-a, nutrient, phytoplankton and oxygen isotope compositions ($\delta^{18}\text{O}$) data. CTD data shows that in the Bering Sea shelf, water mass is a mixture of the Pacific Water, river water, sea ice melting water and brine water. The water sources fraction was calculated by salinity and $\delta^{18}\text{O}$ using a three-end-member model. Results indicate that Pacific water is more than 96%, sea ice melting water is about 1% and river water is less than 5%, respectively. And

from out shelf to inner shelf, the percentage of Pacific water is slightly decreased, while river water is increased from 1% to about 5%. Different water sources carried different fraction of nutrients to the Bering Sea. The changes of water structure directly affected the supply of nutrients. Nutrients from North Pacific water and river water are two major outer sources and the changes of water fraction between Pacific water and river water influenced the total amount of nutrients and its horizontal distribution. While strength of water column stratification, wind and storms in the summer time affected the nutrient vertical distribution. And these were thought as the main factor of coccolithophorid blooms in the Bering Sea shelf. It was thought that the changes of N/P ratio and also dissolved organic nutrient released by diatoms growth and death are the main reason of coccolithophorid blooming in the Bering Sea shelf.

In the Brazilian margin, deep-sea dives led to find a roughly 5.6-km asphalt seep band at a depth of 2700 m. Silica concentration in the pore water indicated the possibility of an active brine system operating in the seepage area. In the middle and southwest asphalt seep band, relatively low rare earth element concentrations and weakly positive Ce anomalies of sediment revealed the asphalt seep was newer than that in the northeast. Stable carbon and nitrogen isotopes are good tracers for understanding the food sources of heterotrophs and trophic pathways within food webs. Our results estimates that the asphalt provided 29% - 56% of the carbon source for benthic animals.

Keyword: Ocean interface, coccolithophorid bloom, water mass, asphalt seep, chemical tracers, Bering Sea shelf, Brazilian margin

【審査結果要旨】

当審査委員会は、申請論文「海洋境界における生物地球化学的プロセスの研究：化学トレーサーによるベーリング陸棚の円石藻ブルーミング発生の要因とブラジル沖のアスファルト湧出の解明（英題：Study of biogeochemical processes at ocean interfaces: using multiple tracers to analyze coccolithophorid blooms in the Bering Sea shelf and asphalt seep in the Brazilian margin)」を詳細に査読し、平成31年1月17日（木）の学位論文公聴会で精細な質疑応答において審査した。以下に審査および最終試験の結果を記す。

海洋境界には様々な物理・化学・生物プロセスがあり、海洋中において最も重要な海域と認識されている。異なる海洋境界における生物とそれを取り巻く環境はその支配要因が複雑で、単一手法のみでは要因の特定が困難である。近年、複数の化学トレーサーを用いる手法が、海洋中の物理・化学・生物プロセスの解明に有力であると報告されている。本学位論文ではまず多種の化学トレーサー解析手法を確立し、海洋水塊の判明と海洋境界における化学・生物的プロセスを明らかにし、異なる海域における環境の解析を可能にした。その結果、海洋と河川の境界であるベーリング海における円石藻ブルーミング発生のメカニズム、および、ブラジル沖におけるアスファルトの湧出による海底生態系への影響の解明に成功した。

博士論文の構成は以下の通りである。

1. ブラジル海域における天然アスファルト湧出に関する研究

2013年5月にブラジル沖において初めて有人潜水船「しんかい6500」を用いて9回の潜航をし、世界3番目のアスファルト湧出を発見した。通常、生物資源が殆どない水深3000メートルの海底でアスファルト湧出域が分布し、その周辺には数多くの海底生物の生息が確認された。本論文では多種の化学トレーサーを用いて、海底アスファルトの生物に対する影響を研究した。潜水船で採取された堆積物コアから堆積物と間隙水が得られ、試料中の化学成分濃度と同位体組成を計測した。地化学温度計として良く使われているシリカの濃度は急勾配を示し、海底面下からの湧出の可能性が示唆された。アスファルトと堆積物中Fe-Mn水酸化物の希土類元素濃度が低く、還元環境で除去されることが考えられた。また、アスファルト域の堆積物中の主なバクテリア種はプロテオバクテリアで、その他の海域の堆積物にはFirmicutesが優占する。更に、炭素と窒素の安定同位体比から底生動物の炭素源の29~56%がアスファルト由来であることを推定した。

2. ベーリング海における円石藻ブルーミング発生の要因

酸素同位体比と塩分を用いてベーリング海海水の水塊解析を行った。その結果、円石藻ブルーミング発生海域において太平洋水の比率はおおよそ94%、河川水は3~5%、海水の溶け水はおおよそ1~2%と推算した。また、各水塊中の栄養塩濃度からベーリング海における円石藻

ブルーミング発生海域での栄養塩供給割合を試算し、太平洋水からの供給量はシリカで総量の30~60%、リンは総量のおよそ97%を占めていた。河川水からの供給量はシリカで40~70%だが、リンはおよそ3%しか占めないことが分かった。水塊構造と栄養塩供給の季節変化に基づいて、円石藻ブルーミングの発生は栄養塩の供給と消費が主な原因だと分かった。

以上を総合的に判断した結果、本研究論文は、地球化学分野において学術的に新しい知見を与えていることを認め、当審査委員会は博士の学位論文として十分な価値を有し、博士の学位を授与するに値すると判断した。