

The Royal Society Scientific Event での 微量金属元素循環に関する研究動向調査

東京大学大気海洋研究所 田中 雄大 (報告者)

1. 要旨

2015年12月7日から8日まで、英国ロンドンにて、“Biological and climatic impacts of ocean trace element chemistry”というテーマで行われたシンポジウムに参加し、近年の観測・数値モデルから得られた微量元素の海洋循環に関する講演を聴講した。

その後、12月9-10日まで、英国ミルトン・キーンズにて、“Quantifying fluxes and processes in trace-metal cycling at ocean boundaries”というテーマで行われたワークショップに参加した。陸棚内や陸棚-外洋間での微量元素の輸送過程に関する知見の整理と、GEOTRACESが目標とする微量元素輸送量の定量化に向けた今後の研究活動方針について議論した。

2. 会議の概要と参加目的

GEOTRACES は、全球規模で行われる観測と数値モデルの結果を基に、微量元素や同位体の動態（空間分布や、その分布を決める物理・化学・生物過程）を把握する事を、大きな目的の一つとした海洋化学の国際プロジェクトである。本シンポジウム・ワークショップは、GEOTRACES で得られた微量元素、同位体の分布と、最新の知見を総合し、今後の共通の活動方針を議論するために行われた。

報告者は、これまでの研究において、北太平洋の縁辺海であるベーリング海南東部において、陸棚上の堆積物を起源とする高濃度の鉄水塊が、どのように隣接する大陸斜面域へ輸送され、斜面域有光層内での活発で持続的な一次生産を支えているのか、という点に興味を持ってきた。本新学術領域研究「海洋混合学の創設：物質循環・気候・生態系の維持と長周期変動の解明」は、西部北太平洋という広大な海域において、主に中深層での鉛直混合強度の定量化と、その鉛直混合に伴う海洋循環や物質循環過程

の理解を前進させる事を目的としている。これまで研究を行ってきたベーリング海以外の海域で、鉄を中心とした微量元素の輸送過程について、どのような研究が世界でなされているのか、最新の知見を収集するために、本シンポジウム・ワークショップに参加した。

3. 会議の内容

前半2日間は、英国ロンドンにある王立協会(The Royal Society)で行われ、微量元素の分布・循環と、その生物生産への影響や、同位体を用いた研究結果について、観測やモデルで得られた知見が紹介された。後半2日間は、英国ミルトン・キーンズにあるChicheley Hallへ移動し、大気、堆積物、海底熱水、陸棚(河川、地下水含む)の4つのWGに分かれ、各々から海洋内部へ入る微量元素の定量化がどこまでできているかを確認し、今後の研究方針について議論を行った。

・公開シンポジウム”The biological and climatic impacts of ocean trace-element chemistry”

日時：2015年12月7-8日

場所：英国ロンドン The Royal Society

プログラム：

2015年12月7日：

Session 1: The chemical cycle of trace elements in the ocean

09:00-09:05 Welcome by the Royal Society and organisers

09:05-09:45 「Trace elements in seawater: advances from global measurement campaigns」: Prof. Robert Anderson (Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, USA)

09:45-10:30 「Atmospheric transport to the oceans of trace elements and micronutrients」: Prof. Tim Jickells

(University of East Anglia, UK)

10:15-11:00 Coffee Break

11:00-11:45 「Solid river inputs and ocean margins as critical sources of elements to the oceans」: Prof. Catherine Jeandel (CNRS, Observatoire Midi-Pyrenees, France)

11:45-12:30 「Modelling the transport of trace elements: the mantle He example」: Prof. Reiner Schlitzer (Alfred Wegener Institute, Germany)

12:30-13:30 Lunch

Session 2: Micronutrients and biology

13:30-14:15 「Local and global-scale interactions between micro-nutrient cycles and phytoplankton」: Dr. Mick Follows (Massachusetts Institute of Technology, USA)

14:15-15:00 「Ecosystem responses to dust and ash input to the surface ocean」: Dr. Mark Moore (University of Southampton, UK)

15:00-15:30 Tea Break

15:30-16:15 「Hydrothermal inputs of micronutrients as a control on ocean productivity」: Dr. Alessandro Tagliabue (University of Liverpool, UK)

16:15-17:00 「Ecosystem controls on the oceanic cycling of trace metals」: Dr. Maite Maldonado (University of British Columbia, Canada)

2015年12月8日:

Session 3: Understanding chemical tracers of past and present process

09:00-09:45 「Radiogenic isotope tracers of present and past ocean circulation」: Dr. Tina van der Flierdt (Imperial College London, UK)

09:45-10:30 「Transition metal isotopes as tracers of oceanic metal budgets and cycling」: Prof. Derek Vance (ETH Zürich, Switzerland)

10:30-11:00 Coffee Break

11:00-11:45 「U-series rate-meters for ocean processes」: Prof. Gideon Henderson FRS (University of Oxford, UK)

11:45-12:30 「Nitrogen isotope variations as tracers of marine nitrogen biogeochemistry」: Dr. Karen Casciotti (Stanford University, USA)

12:30-13:30 Lunch

Session 4: Human influence

13:30-14:10 「Trace metal biogeochemistry and bioavailability in an acidifying ocean」: Prof. François Morel (University of Princeton, USA)

14:10-14:50 「The ocean mercury cycle and its anthropogenic perturbation」: Dr. Carl Lamborg (University of California, Santa Cruz, USA)

14:50-15:20 Tea Break

15:20-16:00 「Anthropogenic Pb isotopes as pollutants and tracers of ocean processes」: Prof. Ed Boyle (Massachusetts Institute of Technology, USA)

16:00-16:40 「The GEOTRACES contribution to the ocean iron fertilisation geoengineering debate」: Prof. Philip Boyd (Institute for Marine and Antarctic Studies, Australia)

16:40-17:00 Summary and closing remarks

・ワークショップ”Quantifying fluxes and processes of trace-metal cycling at ocean boundaries”

日時: 2015年12月9-10日

場所: 英国バッキンガムシャーChicheley Hall
プログラム

2015年12月9日:

Session 1

09:00-09:15 Welcome by Royal Society and introduction from the organisers

09:15-10:00 「Mid-ocean ridges and hydrothermal fluxes」: Dr. Christopher German (Woods Hole Oceanographic Institution, USA)

10:00-10:45 「Discerning the mechanisms and measuring the rates of trace metal release from ocean sediments」: Dr. Will Homoky (University of Oxford, UK)

10:45-11:15 Coffee Break

11:15-12:00 「Fluxes across the continental shelf」: Dr. Walter Geibert (Alfred Wegener Institute, Germany)

12:00-12:45 「Isotope tracing of boundary fluxes」: Dr. Susan Little (Imperial College London, UK)

12:45-14:00 Lunch

14:00-14:45 「Challenges in modelling boundary fluxes and in situ reaction rates」: Dr. William Jenkins (Woods

Hole Oceanographic Institution, USA)

Session 2

14:45-15:00 Plenary introduction to format of day 1 working groups

15:00-18:00 Breakout groups 1 (Atmosphere, Across shelf, Sediments, MOR)

2015年12月10日:

Session 3

09:00-10:30 Report back on working groups

10:30-11:00 Coffee Break

11:00-11:30 「Quantifying fluxes and processes in trace-element cycling at air-sea interface: Lessons from SOLAS programme」: Dr. Cecile Guieu (Laboratoire d'Océanographie de Villefranche-sur-Mer, CNRS-University Paris VI, France)

11:30-12:00 「River input to seawater – lessons from the Global Rivers Observatory」: Dr. Bernhard Peuker-Ehrenbrink (Woods Hole Oceanographic Institution, USA)

Session 4

12:00-12:15 Plenary introduction to format of day 2 working groups

12:15-12:45 Breakout groups (Atmosphere, Coast/river, Sediments, MOR)

12:45-14:00 Lunch

14:00-15:30 Breakout groups continue

15:30-17:00 Report back on working groups

17:00-17:30 Wrap up (including assigning writing groups)

(上記のプログラムについては、同じく本会議に参加された大気海洋研究所・小畑元准教授の報告書より抜粋。)

4. 成果

前半のシンポジウムでは、大気、陸棚、堆積物、海底熱水から海洋内部へ供給される微量元素等について、GEOTRACES で得られた近年の研究成果が紹介された。海底熱水起源の鉄が、海盆に広く影響を及ぼす事(Resing et al. 2015,)や、鉄の同位体をトレーサーとして用いる事で海洋内へ供給された鉄の起源を推定する方法 (Conway and John, 2014) など、

興味深い話を多く聞く事ができた。一方、海洋内部でのフラックスに関しては、Ra など放射性同位体から水平・鉛直拡散係数を推定し、算出する研究が行われていた。これらは、物理観測を基にした報告者らの手法とは異なり、異なる手法で求められた拡散係数、フラックスが整合的なのか比較する事が、今後必要になってくるように思われた。これは、放射性同位体 ^{14}C を用いて Munk (1966) が算出した、北太平洋中深層での鉛直拡散係数 $\cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ の妥当性を巡って、その後半世紀の間、深海乱流計を用いた乱流鉛直混合強度の直接観測による検証が行われている海洋物理学の現在の状況とも通じ、本新学術で取り組むべき課題の一つのように思われた。

後半のワークショップでは、報告者は陸棚 WG に所属し、微量元素フラックスの定量化の現状、今後の観測方針について話し合った。特に、陸棚から外洋へのフラックスをどう定量化するかについて、議論された。議論は、今後の観測方針として、放射性同位体 Ra の測定を強化し、フラックスの定量化に用いるという事でまとめられた。また、現在の GEOTRACES 航海では、陸棚域の観測点が少なく、陸棚周辺でのプロセスが理解できないため、今後の航海では、陸棚上での観測点を増やす事が推奨された。これら後半のワークショップでの議論の内容は、Philosophical Transactions of the Royal Society A に投稿され、報告者も共著者となっている(成果論文)。

5. 謝辞

この会議へ参加するにあたり、東京大学大気海洋研究所の小畑元准教授と北海道大学低温科学研究所の西岡純准教授には、大変お世話になりました。また、東京大学大気海洋研究所の安田一郎教授と小林奈緒美さん、日比野英美さんには、会議参加のための事務手続き、準備などで大変お世話になりました。御礼申し上げます。

6. 引用文献

1. Joseph A. Resing et al., 2015: Basin-scale transport of hydrothermal dissolved metals across the South Pacific Ocean. *Nature*, **523**, 200-203. Doi:10.1038/nature14577
2. Tim M. Conway and Seth G. John, 2014: Quantification of dissolved iron sources to the North Atlantic Ocean. *Nature*, **511**, 212-215. doi:10.1038/nature13482
3. Walter H. Munk, 1966: Abyssal recipes. *Deep-Sea Res.* **13**, 707-730.

7. 成果論文

1. Matthew A. Charette, Phoebe J. Lam, (co-authors), Takahiro Tanaka et al., 2016: Coastal ocean and shelf-sea biogeochemical cycling of trace elements and isotopes: lessons learned from GEOTRACES. *Phil. Trans. R. Soc. A.*, submitted.