

MOSAiC implementation workshopへの参加と 北極海の海洋乱流観測に関する研究動向

東京大学 大気海洋研究所 川口悠介

1. 要旨

2017年11月12-17日にかけて、ロシア連邦極地研究所 (AARI; Arctic and Antarctic Research Institute) に滞在し、2019-2020年に計画されているMOSAiC観測プロジェクト (Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate) での観測内容とロジスティックについての現状報告と今後の打ち合わせを行った。海氷域における通年観測の概要と実行プランについて申請者から提案するとともに、各チーム (ICE, OCEAN, Biogeochemistry, Ecosystem, etc.) ごとのプランを整理・総括することで有益な情報交換の機会を得ることができた。特に、砕氷船 (IB Polarstern) の運行を担うドイツ・Alfred Wegennar Instituteとロシア・Arctic & Antarctic Research Instituteとは、輸送船の運航計画やヘリコプターのオペレーションの条件などについて綿密な打ち合わせができた。

2. 北極海研究の意義と会議の参加目的

北半球高緯度海域に位置する北極海では、地球温暖化の影響を受けて、夏季の海氷量が大幅に現象した状態が現在も続いている。海氷は、海洋と大気間の熱・運動量の交換を制限する役割がある。つまり、海に浮かぶ氷盤が、海洋に対して固い板蓋として振舞うことによって、海洋表層に波が立ちにくく、かつ熱が深層まで入りにくい状態を作り出す。温暖化の影響で海水が減少すると、海洋は以前

よりも多くの風の運動エネルギーが注入され、海面波や内部重力波の形成・伝搬を通して、内部領域の乱れのエネルギーが増大する。

MOSAiCプロジェクトでは、北極海のラプテフ海沖合の多年氷に船を係留し、1年間動力を加えず自然の力で漂流しながら、大気、海氷、海洋の三者の状態 (とそれぞれの相互作用) を連続的に計測する一大観測プロジェクトである。MOSAiC観測は、2019年11月から2020年の10月にかけて、実施が予定されている。1997-1998年に太平洋側北極海で実施されたSHEBA (Surface Heat Budget of the Arctic Ocean) プロジェクトのリバイバルと位置づけることができる。地球の気候が激変する現代において、直近の20年間で北極海の状態がどのように変化したかをつぶさに観察できるまたとない機会がこのMOSAiC観測である。

3. 会議の内容

2年後に始まるMOSAiCの具体的な実行計画について状況を報告し合う機会である。MOSAiCは、SEA-ICE, OCEAN, AIR, BGC, Ecosystemという5つの現場観測グループから構成される (他にモデル・衛星のセクションも存在する)。本会議中には、parallel breakout sessionが設けられ、参加を表明している研究者・研究機関が各グループのメンバーと顔合わせを行い、各自のサイエンスプラ

ンや実行計画について話し合う時間が設けられた。ここでは、各セクションごとに観測の具体的なスケジュールや必要なインフラ設備について議論し、そのまとめを全体セッションにて報告するという形式で行われた。観測で得られたデータが、数値モデルやデータ同化へどのように応用され、実社会にフィードバックされるかについても入念な議論が交わされた。具体的に言えば、地球気候システムモデルの高精度化、北極海の船舶ナビゲーション技術への応用などへの方向性が提案された。

4. 成果

申請者は、OCEANチームに属しており、breakout sessionでは海水直下の乱流熱フラックスの定量化についての観測手法について提言を行った。特に、日射が増加し、海水が活発に動き始める初夏の観測について、観測の意義と具体的な手法・計画を提案し、チームメイトとの連携を模索した。具体的にはMcPhee's Turbulent Mast (McPhee, 2008) と呼ばれる鉛直的な棒状のマストフレームを構築し、それをプラットフォームとして用いることで、海水直下の各海洋変数について時系列でかつ連続的な観測を実施するというプランを提案し、メンバーから承認された。

申請者の過去の研究において、北極海の北極点観測プロジェクト (North Pole Environmental Observatory; NPEO, 代表=J. Morison, ワシントン大) に参加した経験がある。ここでは、海水上にブイネットワークを構築し、ブイ網が形成する海水領域の時間的变化 (つまり、氷盤の変形) と海水直下の

水温・塩分との関係を調査した (Kawaguchi et al., 2012; Frederic & Kawaguchi, 2016)。その際に、海水の成長は4月に停止し、それ以降、融解フェーズに遷移することが示され、海水の変形と海水—海洋間の乱流活動を通じた熱交換の重要性が示唆された。このNPEOでの知見から、この時期は日射の増大と並行して、開放水面域を通じた海洋表層の熱流入が海水密接度の減少を促すと言える。

MOSAICプロジェクトの観測キャンペーンを通して解明されるべき問題点について述べる。上述のように、初夏に海水運動 (主に慣性振動) が促進され、風に対して即時的に応答することで、海洋混合層内では海水からの運動エネルギー注入による混合・擾乱が増大する。一方で、海水の融解による低塩分水の注入は混合層上部に安定性成層を形成する。両者の相対的な強さによって、混合層内の混合状態と混合層深の時間発展が決まると言える。今後は、このcompetingな駆け引きに着目した調査を提案し、実行に移していきたいと考える。具体的には、MOSAICで海水の変形に関するより詳細なデータを取得し、かつ、空間的に密な海洋場の観測データと比較することで、混合層の時間発展を予測する鉛直一元モデルの開発・改良に貢献することを目標とする。

5. 謝辞

国立極地研究所の猪上淳准教授と北海道大学水産学部の野村大樹助教には、MOSAIC (および当該実行会議) への参加に関する諸手続きからロジスティックまで、大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。

MOSAiC Implementation WS

日時：2017年11月12-16日

場所：Arctic&Antarctic Research Institute, St.
Petersburg, Russia

プログラム（一部抜粋、詳細は

http://www.mosaic-expedition.org/downloads/Agenda_MOSAiC_StPetersburg.pdf)

13 November 2017: Monday

1. Overview and status presentations:

10:00 -11.15 (each talk 10 minutes, 20 min.
discussion after all talks)

15.00 -17.00:

Questions to be answered:

- will be published end of December
- printed version
- May/June 2018 (need to fix dates)
- Telegrafenberg, Potsdam, Germany
- Registration fee

- Welcoming speech: A. Makarov/ (5 minutes)
- MOSAIC status overview: M. Rex/A. Sommerfeld
- Observations Atmosphere: M. Shupe/M. Rex
- Observations Sea ice: D. Perovich/M. Nicolaus
- Observations Ocean: C. Provost
- Observations BGC: E. Damm/B. Loose 11.15 -11.30 Coffee break 11:30 - 12.30 (each talk 10 minutes, 20 minutes discussion after all talks)
- Observations Ecosystem: A. Fong
- Remote sensing: G. Spreen
- Aircraft observations: M. Wendisch/A. Herber

1. Chinese ice station and contribution to MOSAIC: Chen Dake

2. Modelling Hierarchy and data assimilation: 13:00 -14.45 (each talk 12 minutes, 3 minutes questions after each talk, 30 minutes discussion after all talks)

- Operational weather forecasts: O. Folomeev
- Operational sea ice forecasts: A. Yulin/H. Yamaguchi
- Large-scale eddy simulations: A. Solomon, V. Schemann, K. Dethloff
- Single column models: G. Svensson/F. Kauker
- Regional modeling: A. Rinke/W. Maslowski
- Data assimilation in regional atmospheric models: M. Mueller
- Data assimilation in regional BGC models: T. Wakamatsu/A. Samuelson
- Data assimilation in global models: J. Inoue
- Arctic reanalysis: J. Inoue
- Improved sub-grid scale parameterizations:
- Links between YOPP and MOSAIC: G. Svensson

14 November: Tuesday

1. Overview and status of MOSAIC task groups:

10:00 -11.30 (each talk 10 minutes, 5 minutes questions after each talk)

- Data strategy and policy: S. Frickenhaus/S. Pfeiffenberger
- RV Polarstern :NN
- Central ice floe: M. Nicolaus/D. Perovich
- UAV: G. De Boer
- Helicopters: G. Birnbaum
- Tethered balloons: M. Maturilli

11:45 -12.45 : (each talk 10 minutes, 5 minutes questions after each talk)

- Meteorological Mast und eddy-covariance measurements: O. Persson
- Buoys: Ch. Provost
- ROV + AUV: M. Nicolaus
- CTE, nets, ice hole: A. Fong
- 1. General plenum: (lead by M. Rex) **13.30-**
 - Overview of financed projects: M. Rex
 - Overview of submitted proposals: M. Rex
 - Overview of MOSAiC governance structure: (AC)^{A3}: M. Wendisch
- 1. Parallel breakout sessions: **15:30 - 18.00**
 - Atmosphere (lead by M. Shupe/M. Rex)
 - Sea ice (lead by D. Perovich/M. Nicolaus)
 - Ocean (lead by Ch. Provost/B. Rabe)
 - BGC (lead by B. Loose/E. Damm)
 - Ecosystem (lead by A. Fong/A. Waite)
 - List of used instruments and responsible lead institution
 - List of measured parameters (spatial, temporal) over the 4 seasons
 - Exploited parameters for model applications
 - Campaign white book:
 - 1. Time schedule for measurements e.g. weekly, monthly, seasonal
 - 2. Coordinated measurements in all subsystems for crosscutting events, e.g. front passages, arctic haze, blossom bloom, ...

15 November, Wednesday

- 6. Plenum discussions about breakout sessions: (lead by M. Rex) 10:00 - 11.30
 - Plenum Intro M. Rex
 - Presentation and discussion of breakout results (each team 30 minutes)
 - Atmosphere: M. Shupe/M. Rex
 - Sea Ice: D. Perovich/M. Nicolaus
 - Ocean: Ch. Provost/B. Rabe 11:45 -12.45
 - BGC: B. Loose/E. Damm

- Ecosystem: A. Fong/A. Waite
- 1. Parallel breakout sessions: **13:30 -15.30**
 - Modelling: W. Maslowski/A. Rinke
 - Remote sensing: G. Spreen/L. Kaleschke
 - Aircraft observations: A. Herber/M. Wendisch
 - Data policy (Data from ice station to ship, ship to AWI server, observations to Archive strategy): S. Frickenhaus/H. Pfeiffenberger
 - Media and Outreach: R. Roechert
- 1. Plenum about breakout sessions: (lead by M. Rex) **16:00 - 18.00**
 - Plenum Intro: M. Rex
 - Presentation and discussion of breakout results (each 25 minutes)
 - Modelling: Maslowski/A. Rinke
 - Remote sensing: G. Spreen/L. Kaleschke
 - Aircraft observations: A. Herber/M. Wendisch
 - Data policy: S. Frickenhaus/ H. Pfeiffenberger
 - Media and Outreach: R. Roechert
- 16 November Thursday** 9) General plenum: **(lead by M. Rex) 10:00 - 13.00**
 - Update Logistics: U. Nixdorf
 - Schedule of refueling and staff exchange: V. Sokolov
 - Polarstern layout: M. Nicolaus
 - Polarstern helicopters: G. Birnbaum
 - Central ice floe: M. Nicolaus
 - Setup of distributed network
 - Logistical needs and wish list for shipping company (heated tents, power lines, emergency tents at outer stations,..)
 - Update the implementation Plan until December 1st 2017
 - Next workshops Spring 2018 Potsdam

