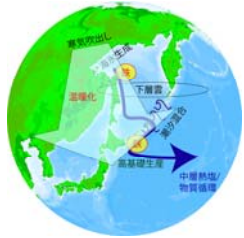


# 環オホーツク圏の海洋・大気シミュレーション



**概要:** 環オホーツク圏(オホーツク海とその周辺地域)では科学的に興味深く社会的に重要な気候・環境の形成およびそれらの長期変動が生じており、これらのより良い理解と数値シミュレーションによる再現・予測が求められている。

- 1) 冬季には、大規模な海水生成が起こる結果、北太平洋ほぼ全域の海洋中層循環に影響を与えている。海水生成の際には、塩が不純物として排出される上に、海水が結氷点まで冷えるため、海水の密度が高くなる。この高密度海水生成と千島列島域での潮汐による鉛直混合により、オホーツク海から北太平洋に広がる中層熱塩循環が駆動される。この循環に伴い、大気・陸域・海底堆積物起源の様々な物質が北太平洋中層に取り込まれ循環する。
- 2) 環オホーツク圏では、世界最大規模の基礎生産(海洋植物プランクトン増殖)が生じている。高い基礎生産は、食物連鎖を通じ豊富な水産資源を生み出し、炭素循環にも重要な役割を果たす。この基礎生産には、上述の中層熱塩循環により運ばれて来た「鉄」が重要である。鉄は2価と3価のイオンを持つことから光合成等における電子伝達に使われるが、海水には極めて溶けにくいため多くの海域で基礎生産を律速している。例外的に環オホーツク圏では、中層循環に伴う鉄供給のおかげで鉄律速がかけつづらぬ。
- 3) 近年、環オホーツク圏は顕著な温暖化にさらされている。オホーツク海の水表面積も減少傾向にあり、オホーツク海起源の熱塩循環・物質循環の弱体化傾向が観測されていることから、基礎生産への影響が危惧されている。
- 4) また、オホーツク海周辺では下層雲(高度の低い雲)や霧が頻りに形成される。下層雲は、夏季は日射の遮蔽と赤外放射により海面や陸面を冷却し、冬季は大量の降雪をもたらす。



研究代表者らのグループでは、環オホーツク圏の気候・環境の形成と変動のより良い理解のために、環オホーツク圏の気候・環境に重要な3つの現象-(a)オホーツク海を起源とする栄養物質循環と熱塩循環、(b)潮汐による鉛直混合過程、(c)オホーツク海周辺の下層雲-についてシミュレーション研究を行う。加えて、これらシミュレーションの効率化と大規模化に向けて、使用する数値モデルの高速化チューニングを検討する。

## モデルの高速化

(大宮学・中村知裕)

高速化チューニングによりモデルの長期積分と高分解能化そして実験の効率化を図る。

これまで('10-13年度):

- (1) 大気モデルの高速化
  - SMP並列チューニング (自動並列化の一部抑止、スレッドローカル化、強制SMP並列)
  - MPI並列チューニング (水平2次元領域分割)
- (2) 海洋非静水圧モデルの高速化 (SMP・MPIハイブリッド並列のチューニング)
  - ループ融合による キャッシュ・チューニング
  - 融合後の最外ループでの SMP並列化
- (3) 鉄化学モデルの高速化
  - ノード内ハイブリッド並列化
  - SMP並列チューニング (インライン展開と強制SMP並列化)
- (4) 高分解能熱塩循環モデルの高速化チューニング
  - ループ融合による
  - ・キャッシュヒット率向上
  - ・SMP並列での演算負荷均等化
  - 境界部通信の重ね合わせ

今年度:

高分解能・鉄循環モデルの高速化チューニング

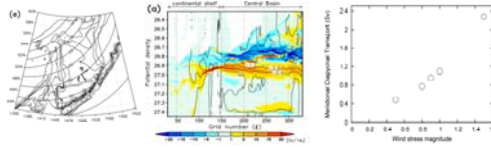
## 栄養物質循環／熱塩循環 (中野渡拓也・吉成浩志・中村知裕・三寺史夫)

オホーツク海陸棚由来の栄養物質(鉄)が、海洋熱塩循環で運ばれ、基礎生産を高める。

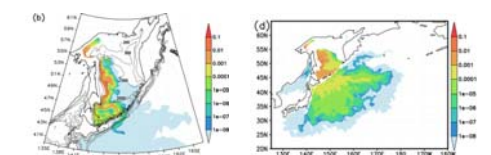
これまで('10-13年度):

- ・熱塩循環
  - 経年変動シミュレーションと要因解析
  - 高分解能熱塩循環シミュレーション
- ・物質循環
  - フロン循環シミュレーション
  - 鉄化学モデルの構築とOGCMへの組み込み
  - 鉄循環 気候学的季節変動シミュレーションと要因解析
  - 鉄循環 経年変動シミュレーション

高分解能熱塩循環の感度実験('14年度)

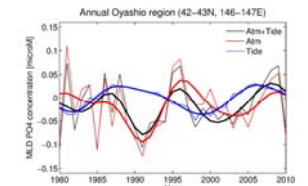


(左)モデル格子に沿った「東西」方向、(中央)「東西」に積算した「南北」循環の流量の「南北」-密度分布。基本実験の場合、青は北上、赤は南下を表す。(右)風応力による「南北」循環の変化。横軸の数値を風応力(気候値)に掛けて強化/弱化した実験の結果。Matsuda et al. (2015)



基本実験における、熱塩循環(上図中央の赤い領域)によりオホーツク海北西陸棚域から輸送されたトレーサーの分布。(左)約2年後、(右)約3年後。Matsuda et al. (2015)

鉄循環経年変動の感度実験('14年度)



親海域における年平均の混合層内リン酸濃度の経年変動。大気場と潮汐の両方(黒)、大気場のみ(赤)、潮汐のみ(青)変動する場合。本線はローパスフィルターを掛けたもの。鉄もこれに連動。

今年度: 高分解能・鉄循環(気候学的季節変動場)シミュレーション

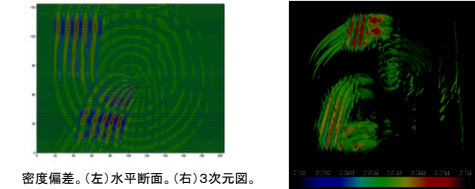
## 潮汐混合 (伊藤薫・中村知裕)

潮汐起源の内部重力波や力学的不安定による混合は、熱塩循環／物質循環に大きく影響する。

これまで('10-13年度):

- 鉛直2次元での
  - 高分解能シミュレーション
  - 理想化実験とパラメタ走査
  - 力学解析と理論化
- 3次元数値実験
  - 力学解析
  - 高分解能化

内部波と渦の相互作用の高分解能シミュレーション('14年度)



密度偏差。(左)水平断面。(右)3次元図。

今年度:

様々な力学レジームにおける・内部重力波と渦の相互作用のシミュレーション・力学解析

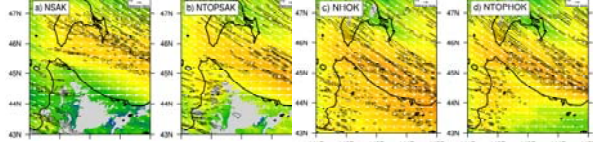
## 下層雲 (中村知裕・三寺史夫)

オホーツク海では下層雲が頻りに形成され、冬季は大量の降雪をもたらす。

これまで('10-13年度):

- ・夏季下層雲の
  - シミュレーションと形成維持機構の解析
  - 経年変動シミュレーション
  - 高分解能シミュレーション
- ・冬季下層雲のシミュレーション

冬季下層雲の感度実験('14年度)



北海道オホーツク海沿岸帯状雲の感度実験。コンターは鉛直積分した雪量比、色は940hPa気温、矢印は960hPa風。a)サハリン島が無い、b)サハリン島が平坦、c)北海道が無い、d)北海道が平坦な場合。Yagnesh et al.

今年度:

1季節中の他事例シミュレーション