

# 海面水位上昇と氷床不安定性に関する IPCC ワークショップ (IPCC Workshop on Sea Level Rise and Ice Sheet Instabilities) 出席報告

安田 珠幾 (気象庁気象研究所気候研究部)  
阿部 彩子 (東京大学大気海洋研究所/海洋研究開発機構)

## 1. はじめに

2010年6月21日から24日までマレーシアクアラルンプールにおいて開催された「海面水位上昇と氷床不安定性に関する IPCC ワークショップ (IPCC Workshop on Sea Level Rise and Ice Sheet Instabilities)」に出席した。本ワークショップは、IPCC 第31回総会 (2009年10月) において第1作業部会 (WG1) から提案され、その開催が了承されたものである。

本ワークショップの主たる目的は、地球温暖化に伴う海面水位上昇に関して、IPCC 第4次評価報告書 (AR4) 以降の進展を含めた最新の知見を集結すること、モデル予測の不確実性の議論を行うこと、第5次評価報告書 (AR5) に向けた議論を始めること、である (Thomas Stocker)。特に、AR5 では海面水位変動に関する独立した章 (第13章 Sea Level Change) が設けられることになり、これまでの全球平均水位上昇に各領域の変動や予測が加わり、グリーンランド氷床・南極氷床・氷河が水位上昇へ及ぼす影響が詳細に記述されることとなろう。

本ワークショップには、IPCC WG1 共同議長である Thomas Stocker や Qin Dahe、第13章の執筆者を初めとして、海面水位や氷床に関する研究者が約120名参加した。ワークショップは、講演16件・ポスター発表74件 (2分ずつの口頭紹介あり)・グループ討論・総合討論で構成された。日本からの参加者は4名であり、氷床および古気候モデル研究から阿部彩子 (東京大学大気海洋研究所/海洋研究開発機構)、古気候データ解析研究から横山祐典 (東京大学大気海洋研究所准教授)、全球熱膨張トレンドや十年予測研究から石井正好 (気象研究所気候研究部主任研究官)、日本近海の水位変動研究から安田珠幾 (気象研究所気候研究部主任研究官) が出席した。

## 2. スケジュール

### 第1日 (6月21日)

午前

#### 開会

歓迎・開会の挨拶があり、Thomas Stocker から本ワークショップの目的 (上述) について説明があった。

#### グリーンランドー質量バランス・力学・水位上昇への寄与

- Konrad Steffen「グリーンランドの質量バランス：観測・モデリング・不確実性」
- Eric Rignot「グリーンランド氷床の力学：観測と潜在的不安定性」
- David Holland「氷床海洋相互作用および融解と不安定性に対する関係」

午後

#### 氷河ー質量バランス・力学・水位上昇への寄与

- Tad Pfeffer「水位上昇に対する氷河の寄与：過去・現在・未来」
- Roderic van de Wal「全球氷河質量バランス：モデリングと不安定性」

#### ポスターセッション

### 第2日 (6月22日)

午前

#### 南極ー質量バランス・力学・水位上昇への寄与

- Isabella Velicogna「大規模氷床による水位上昇に関する衛星観測」

- Tony Payne「南極氷床の力学：観測と潜在的不安定性」
- Ian Allison「南極氷床のモデル化能力を制限する要素：現状と進展」

### ポスターセッション

午後

#### 海洋：密度と循環の変化

- Sarah Gille  
「水位に影響を及ぼす海洋特性の変化：観測・モデリング・不確実性」
- Detlef Stammer  
「水位に対する海洋循環の変化の影響：観測・モデリング・不確実性」

#### グループ討論

- テーマ1：氷床：グリーンランド
- テーマ2：氷床：南極
- テーマ3：氷河
- テーマ4：熱膨張と塩分の効果

#### グループ討論報告

第3日（6月23日）

午前

#### 海洋：観測水位変化

- Edouard Bard「過去の水位変化に関する記録：振幅と速度」
- Anny Cazenave「過去数十年と近年の水位収支：レビュー」

#### 水位上昇予測と不確実性

- Jason Lowe「水位上昇予測：全球モデリングから領域モデリング」
- Svetlana Jevrejeva「準経験的モデルによる水位上昇予測」

### ポスターセッション

#### グループ討論

- テーマ5：過去の水位変化の説明
- テーマ6：全球と領域水位変化の予測
- テーマ7：氷床不安定性：理解と予測

#### グループ討論報告・議論

第4日（6月24日）

午前

#### 総合

- John Church「過去と現在の水位変化：鍵となる結論と進むべき道」
- Jonathan Gregory「将来水位変化：鍵となる結論と進むべき道」

#### 総合討論

#### 閉会

## 3. 主な結果

### AR4からの進展

#### (1) XBT バイアス修正

AR4では、1970-80年代に全球平均表層水温が高い（熱膨張が大きい）という時系列が見られた（例えば、Climate Change 2007 Fig. 5.19）。その後、複数の研究グループが独立にXBTのバイアスが時間変動していることを示し、バイアス修正を行った（Domingues et al. 2008, Ishii and Kimoto 2009, Levitus et al. 2009）。これにより、1970-80年代の高温偏差が消えた。

#### (2) Argo データの利用

2003年から始まったArgoの全球展開は、表層熱膨張のモニターにも寄与している。一時期は特定のフロートの低温バイアスが問題となったが、現在は解決している。

### (3) 深層の温暖化

これまでの熱膨張成分の見積もりは多くのデータが 700m 深までの水温データを用いたものであり、深層の温暖化の寄与は不明であった。Argo データ (2000m 深まで) や深層観測の増加により、南極周辺での寄与が大きいことが明らかとなった。全球平均水位上昇のうち、3000m 以深の寄与は  $0.09 \pm 0.06$ mm/年 (1980-2010 年) と見積もられるが、誤差は大きい。

### (4) 氷床質量に関して、GRACE、海面高度計などによる衛星観測

重力場を観測する衛星 GRACE などによって、グリーンランドや南極氷床の質量バランスが詳細に求められるようになった。GRACE の観測から求められる質量変化から地球内部の質量変化を分離する Glacial Isostatic Adjustment (GIA) の方法に改善が見られた。グリーンランドでは、2002-2009 の期間で、0.7mm/年の水位上昇に換算される氷床質量損失があった。質量損失の部分は、グリーンランド南東部から始まり南西部から北西部に達する様子が重量計と表面融解 (可視光) の両方で一致して確認された。南極氷床の変化は、0.4mm/年の水位上昇に相当し、その変化量は西南極の南極半島の付け根付近で大きく、東南極では小さい。また、水位上昇率 (mm/年) はグリーンランドでも南極でも年々大きくなっている。又、モデル計算とデータ解析を合わせると、質量損失の約半分は融解など表面質量収支変化によっており、残り半分はなんらかの力学的応答の結果であることから、力学的応答が予想より早く起こり始めている可能性が示唆された。ただし、水位上昇率の不確実性は年変化の 3 倍となっているので、現在の 1/10 に抑えることが理想である。

### (5) 氷河

氷河の全球平均水位上昇に対する寄与については、AR4 以降、不確実性は減ってきたがまだ大きい。氷河が世界一様に分布しているわけではなく、さらにデータが限られている点が課題である。世界中の氷河を網羅する基礎的データ収集、なかでも氷河谷がどの程度深いかなどの基礎形状とその高度別分布の把握などが課題である。

### (6) 氷床モデル

ヨーロッパ (プロジェクト名: Ice2Sea) やアメリカ (プロジェクト名: SeaRISE) を中心に、氷床モデルの高精度化と大循環モデルへの組み込みが始まっている。南極の氷床を正確に表現するには、氷床と海洋の相互作用や grounding line (氷床が地面から離れる境界) が海洋モデルに組み込まれることが必要であるが、非常に技術的には難しいので、AR5 までには間に合わないだろう。

### (7) 古気候データとモデリング

氷床の将来変動を予測するモデルの検証の為の古気候データとして、前の間氷期 (約 12 ~ 13 万年前) に AR4 までは 2~4 メートル現在より高かったとされていたが、最近の相次ぐ研究からは 6 メートル以上の高い値がでてきている。また、氷期から現在までの変化に関して、急激に海面が上昇したフェーズに関して (約 1 万 5 千年前の MWP1 と 1 万 3 千年前の MWP2) は、最新の研究では MWP2 の存在が疑問視されており、MWP1 が南極氷床から融けたものである可能性が高く、南極氷床が従来より変動を起こしやすいことを示唆している。

### (8) 全球平均海面水位上昇率と各成分の見積もり

	1961-2008	1993-2009	2003-2009
グリーンランド氷床	0.2mm/年	0.4mm/年	0.6mm/年
南極氷床	不明	0.3mm/年	0.5mm/年
氷河	0.6mm/年	1.0mm/年	1.1mm/年
熱膨張	0.7mm/年	1.1mm/年	0.6mm/年
合計	1.5mm/年	2.8mm/年	2.8mm/年
観測	1.7mm/年	3.3mm/年	2.5mm/年

## 全球平均海面水位上昇に対する各成分の寄与

	熱膨張	氷床・氷河
過去 50 年間	50%	50%
1993 年以降	30-35%	60%
最近 7 年間	25%	70-75%

近年、氷床・氷河の寄与が大きくなっている。

### 今後の課題

#### (1) 氷床・氷河

- ✓ 氷床－海洋相互作用と grounding line のモデルへの組み込み
- ✓ 南極大陸の GIA の改善
- ✓ 氷河の全球変化の見積もり
- ✓ 氷床モデルの底面過程を含む高度化
- ✓ 前の間氷期と氷期を経た現在までの古気候データとモデリングの精査

#### (2) 海洋内部

- ✓ 水温と塩分のバイアス修正
- ✓ さまざまな時間規模での水位収支

#### (3) 将来予測

- ✓ 予測の空間分布の差異の要因
- ✓ 水位の極端現象の予測
- ✓ 結合モデルにおける海洋深層温暖化の再現
- ✓ 確率論的予測の実施
- ✓ 氷床付近の領域大気モデル併用した氷床の将来予測

## 4. 所感

AR4 以降の水位変動をテーマにした研究の進展を知ることができたのは有意義であった。特に、近年の氷床・氷河に関する研究については近年の著しい進展を感じることができた。その中で、全球平均水位上昇に対する氷床・氷河の寄与は年々増加し、21 世紀に入って 75%まで増加していることは驚きであった。将来的には、モデルにどの程度精緻な氷床過程が組み込まれるかで、水位の将来予測が大きく異なることが予想される。また、海洋学、大気科学、氷床力学とかなり異なる専門領域の作業のそれぞれの進展のようすが見られ、それぞれが見積もった海面水位への貢献の合計値と、観測されている水位の上昇が、かなり AR4 より近づいたのは、各方面の努力の結果だと思う。異なるいくつかの手法（直接現地観測、衛星データ解析、全球大気海洋モデリング、氷床氷河モデリング）をバランスよく視野にいれて、考察することが重要である。さらに、不確実性低減のためにも、データの変動の説明をモデリングとデータを組み合わせて行ったり、不確実性の範囲を考慮したモデル計算を重ねることが重要である。日本で大幅に遅れているのは、データ解析とモデリングを組み合わせた研究と、メカニズム解明と不確実性把握のために多数回実行の必要のあるモデル実験である、と感じた。

以上